

Применение пекового кокса для устранения и предупреждения загромождения горнов доменных печей

Одним из наиболее тяжелых видов расстройств хода доменных печей является загромождение горна. Оно сопровождается снижением производительности доменных печей, увеличением удельного расхода кокса, частым горением воздушных фурм, возникновением неровного хода печи. Основной причиной загромождения горна, как известно, является скопление коксовой мелочи в результате использования низкопрочного кокса. При этом снижается газопроницаемость и дренажная способность коксовой насадки в горне и заплечиках. Труднопроходимые межкусковые пустоты измельченного кокса заполняются малоподвижным непрогретым шлаком, содержащим твердые частицы коксовой, графитовой и угольной пыли, дополнительно снижающие его подвижность. Уменьшается температура в центральной части горна из-за сокращения потока газа-теплоносителя. Уменьшается полезный объем горна, способный заполняться жидкими продуктами плавки [1-3].

Фракционный состав кокса в горне и заплечиках доменной печи может быть рассчитан [4] в зависимости от показателя горячей прочности кокса CSR по формуле

$$F(d) = 1 - \exp\{-[0,000136(\text{CSR})^2 - 0,0184(\text{CSR}) + 0,643]d^{0,0168(\text{CSR}) + 0,231}\}. \quad (1)$$

Установлено [4], что вероятность загромождения горна существенно возрастает при снижении показателя горячей прочности кокса CSR менее 42 %. При этом происходит увеличение количества коксовой мелочи в горне и заплечиках доменной печи, что и приводит к загромождению горна. По результатам исследований, проведенных в 2008 г. кафедрой металлургии чугуна ПГТУ установлено, что при максимальной горячей прочности CSR кокса КХП МК «Азовсталь» наблюдается наименьшее число сгоревших воздушных фурм (рисунок). Максимальные показатели горячей прочности кокса были достигнуты в первом полугодии 2008 г. в марте-апреле. Число замененных за 1 месяц воздушных фурм (N) на ДП-2, 4 и 5 связано с CSR кокса соотношением (рисунок)

$$N = -7,123 \text{ CSR} + 339, \quad r = -0,794. \quad (2)$$

Уменьшение показателя CSR на каждый 1 %

Выполнен анализ влияния горячей прочности кокса (CSR) на стойкость воздушных фурм. Установлена зависимость между показателем горячей прочности кокса и количеством замененных сгоревших воздушных фурм в условиях доменного цеха ОАО «МК „Азовсталь“». Предложен и исследован новый способ предупреждения и устранения загромождения горна доменных печей, показаны преимущества предложенного способа в сравнении с существующими

приводит к увеличению числа сгоревших за 1 месяц фурм на трех доменных печах на 7-8 шт. Это соответствует увеличению количества сгоревших фурм по доменному цеху ОАО «МК „Азовсталь“» на 11-15 шт.

Для предупреждения негативных последствий загромождения горна необходимо принимать упреждающие изменения в технологии доменной плавки, не дожидаясь частого горения фурм. Поэтому при снижении CSR кокса менее 42 % необходимы изменения в технологии доменной плавки.

Известные способы устранения загромождения горна доменной печи предусматривают:

- временное снижение расхода или прекращение подачи природного газа в горн доменной печи при сохранении высокой температуры горячего дутья и повышенного содержания в нем кислорода [5-7];

- загрузку в доменную печь дополнительных компонентов шихты – промывочных материалов [1, 2]. В качестве промывочных материалов используют дополнительные железосодержащие компоненты шихты с высоким содержанием FeO и низкой восстановительностью: сварочный шлак, материал офлюсованный железосодержащий (МОЖ), высококозакисный агломерат.

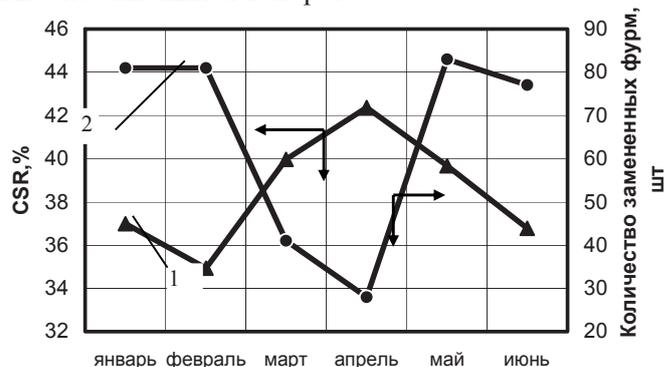


Рис. Влияние горячей прочности кокса CSR (1) на количество замененных за месяц воздушных фурм (2) на доменных печах № 2, 4, 5

Однако, приведенные способы обладают существенными недостатками. Так, например, снижение расхода или прекращение подачи природного газа допустимо лишь на краткосрочный период времени (20-30 мин). При длительной работе доменной печи в таком режиме из-за высоких температур в горне осложняется проход термически расширившихся газов через столб шихты, устанавливается неровный сход шихты и возникает угроза другого расстройства работы доменной печи – повисания шихтовых материалов. Краткосрочное применение данного способа может быть недостаточно для устранения загромождения горна доменной печи и лишь частично улучшает дренажную способность и газопроницаемость коксовой насадки. Кроме того, уменьшение расхода или прекращение подачи в доменную печь природного газа, являющегося заменителем кокса в доменной плавке, приведет к увеличению расхода кокса на выплавку чугуна.

Загрузка промывочной шихты также имеет свои недостатки. Ее применение приводит к поступлению в горн трудновосстановимых соединений, увеличению развития эндотермических реакций восстановления оксидов железа твердым углеродом, увеличению удельного расхода теплоты и кокса на выплавку чугуна и снижению производительности доменной печи. Кроме того, как показывает опыт применения промывочных материалов, эффективность их использования недостаточно велика. В ряде случаев с помощью промывок не удается устранить загромождение горна.

Дополнительными мерами, способствующими снижению загромождения горна, также могут быть [1]: временное увеличение содержания марганца в чугуне до 1,0-1,5 %, способствующее повышению содержания углерода в чугуне и, следовательно, большему поглощению сажистого углерода в горне, увеличению подвижности шлака за счет повышенного содержания MnO, удалению коксового мусора в горне за счет реакций восстанов-

ления марганца углеродом; понижение основности шлака; формирование развитого осевого газового потока; улучшение гранулометрического состава шихты.

По результатам исследований, выполненных на ОАО «МК „Азовсталь“» в 2008 г., был предложен новый способ устранения и предупреждения загромождения горна, предусматривающий загрузку в доменную печь пекового кокса взамен части каменноугольного кокса.

Пековый кокс (ГОСТ 3213-91) – кусковый продукт высокотемпературной обработки каменноугольного пека и каменноугольной смолы, предназначенный для изготовления анодной массы и электродов. В отличие от пекового кокса, каменноугольный кокс, загружаемый в доменную печь, получают из углей разных марок. В таблице сравниваются металлургические свойства каменноугольного кокса, производимого коксохимическими заводами Украины, и пекового.

Пековый кокс имеет лучший состав, чем каменноугольный, так как содержит меньше золы и серы. Пековый кокс мельче каменноугольного, о чем свидетельствует большее содержание мелкой фракции –25 мм и отсутствие крупных кусков +80 мм. Прочность пекового кокса на удар и истирание уступает прочности каменноугольного кокса. Более низкая механическая прочность, недостаточная крупность и ограниченное производство не позволяют широко использовать пековый кокс в доменной плавке. Отличительной особенностью пекового кокса является очень высокая прочность после реакции CSR и низкая реакционная способность CRI. Высокое значение CSR показывает способность пекового кокса не разрушаться в условиях высоких температур и контакта с доменным газом в нижней части доменной печи. Низкая реакционная способность свидетельствует о медленном окислении пекового кокса углекислым газом и кислородом и низкой его горючести. Таким образом, пековый кокс в условиях горна до-

Таблица
Сравнение металлургических свойств каменноугольного и пекового коксов

Свойства	Кокс	
	каменно-угольный	пековый
– Содержание золы, %	11,0-14,0	0,25-0,50
– Содержание серы, %	1,20-1,70	0,25-0,7
– Механическая прочность на удар, показатель барабанной пробы М25, % (ГОСТ 5953-72, большее значение соответствует большей прочности)	84,0-88,0	82,4
– Механическая прочность на истирание, показатель барабанной пробы М10, % (ГОСТ 5953-72, большее значение соответствует меньшей прочности)	6,0-8,0	11,0
– Содержание мелкой фракции –25 мм, %	2,0-6,0	14,4
– Содержание крупной фракции +80 мм, %	5,0-8,0	0
– Прочность после реакции (горячая прочность) CSR, % (ДСТУ 4703:2006, большее значение соответствует большей прочности)	34,0-48,0	72,5
– Реакционная способность CRI, % (ДСТУ 4703:2006, большее значение соответствует большей реакционной способности)	30,0-40,0	24,0

менной печи будет разрушаться значительно меньше каменноугольного кокса без образования коксового мусора. При этом он будет сохраняться в горне более длительное время, чем каменноугольный кокс из-за меньшей скорости сгорания и газификации.

Устранение и предупреждение загромождения горна доменной печи осуществляют следующим образом. При значительном ухудшении качества кокса, влекущем загромождение горна доменной печи, или появлении признаков загромождения горна в коксовые бункера доменной печи наряду с каменноугольным загружают пековый кокс. Расход пекового кокса составляет 3-40 % от общей массы каменноугольного и пекового коксов [8]. Из коксовых бункеров смесь коксов через грохот загружают в весовые воронки и скипы, отсеивая при этом мелкую фракцию -25 мм. Крупные куски кокса +25 мм скипом загружают в доменную печь. Мелкая фракция -25 мм поступает в бункер коксовой мелочи, из которого ее периодически выгружают в вагоны и поставляют на аглофабрику. Таким образом, мелкие частицы пекового кокса -25 мм не загружают в доменную печь, несмотря на их повышенное содержание. В доменной печи каменноугольный и пековый коксы в течение 6-8 ч опускаются в горн. При этом каменноугольный кокс в нижних горизонтах доменной печи разрушается из-за недостаточной горячей прочности CSR, образуя коксовый мусор. Пековый кокс мало разрушается в нижней части доменной печи (благодаря высокой горячей прочности CSR) и сохраняет свой гранулометрический состав. Пековый кокс, попавший при загрузке в периферийную часть доменной печи, в горне поступает в зоны горения возле фурм. При этом из-за низкой реакционной способности CRI пековый кокс не сгорает сразу, а длительное время находится в зоне горения. Кислород дутья, израсходованный не полностью в зоне горения на сгорание пекового кокса, поступает глубже в горн и расходуется на сжигание твердых частиц коксовой, графитовой и угольной пыли и коксового мусора в коксовой насадке, который формирует основу неподвижной шлаковой массы, загромождающей горн, устраняя тем самым загромождение. Пековый кокс, попавший при загрузке в центральную часть доменной печи, в горне занимает место в коксовой насадке. В отличие от каменноугольного кокса, пековый кокс в течение длительного времени не газифицируется кислородом шихты и CO_2 в горне из-за низкой реакционной способности. Занимая место более быстро газифицирующегося каменноугольного кокса в коксовой насадке, кусковый пековый кокс повышает ее газопроницаемость и дренажную способность, предупреждая или устраняя тем самым загромождение горна. Совместную загрузку каменноугольного и пекового коксов осуществ-

ляют в течение длительного периода – от 2-х недель до 4-х месяцев. После восстановления активности горна доменной печи загрузку пекового кокса прекращают и возвращаются к обычному составу шихты и топлива доменной плавки.

Опытно-промышленные испытания пекового кокса, проведенные на доменной печи № 5 ОАО «МК „Азовсталь“» в 2008 г., подтвердили эффективность его использования для устранения и предупреждения загромождения горна. Способ был реализован в марте, апреле и июле, когда масса пекового кокса превышала 3 % от общей массы коксов. В качестве базового периода для сравнения приняты январь, февраль, июнь, август, сентябрь и октябрь, когда загрузка пекового кокса не производилась или его расход составлял менее 3 % от массы коксов.

6 ноября ДП-5 была остановлена и ее работа не возобновлялась до конца 2008 г. В мае 2008 г. в доменные печи № 5 и 6 загружали Авдеевский кокс с недопустимо низкой механической прочностью, что привело к тяжелому расстройству хода печей и потребовало перевода их на тихий ход с последующей раздувкой.

На ДП-5 в период реализации способа загрузки пекового кокса фактический удельный расход кокса составил 523,36 кг/т чугуна, а фактическая производительность – 2568,3 т/сут. В базовый период фактический расход кокса составил 527,05 кг/т чугуна, а фактическая производительность – 2416,33 т/сут. Фактическое снижение расхода кокса по ДП-5 составило 3,86 кг/т чугуна, а фактическое увеличение производительности – 152,0 т/сут. Среднее число сгоревших за месяц воздушных фурм в период загрузки пекового кокса составило 3,67 шт, а в базовый период – 14,17 шт. Время простоев ДП-5 сократилось с 2,64 % (в базовом периоде) до 0,68 (в период загрузки пекового кокса).

Сравнение показателей работы ДП-5 в сопоставляемые периоды с учетом влияния различных технологических факторов производили по методике МЧМ СССР 1987 г. Из учитываемых факторов была исключена продолжительность текущих простоев, так как ее снижение в период загрузки пекового кокса является прямым следствием применения способа загрузки доменной печи. Приведенный к равным условиям удельный расход кокса по ДП-5 в период загрузки пекового кокса снизился на $527,05 - 524,16 = 2,89$ кг/т чугуна (в сравнении с базовым периодом), а приведенная к равным условиям производительность увеличилась на $2577,4 - 2416,33 = 161,1$ т/сут.

Улучшение технико-экономических показателей работы ДП-5 частично обусловлено применением пекового кокса. При этом снижение среднего количества замененных за месяц на ДП-5

воздушных фурм составило $14,17 - 3,67 = 10,50$ шт или ~ 10 воздушных фурм.

Положительное влияние на технико-экономические показатели доменной плавки при применении пекового кокса достигается за счет сокращения: количества сгоревших воздушных фурм и затрат на их приобретение; продолжительности текущих простоев доменной печи на замену воздушных фурм; удельного расхода кокса за счет сокращения продолжительности текущих простоев, а также увеличения производительности доменной печи за счет сокращения текущих простоев и ровного хода печи и снижения затрат на приобретение кокса за счет меньшей стоимости пекового кокса в сравнении с каменноугольным.

Экономический эффект от применения пекового кокса на доменной печи № 5 ОАО «МК „Азовсталь“» в ценах 2008 г. составил свыше 4 млн. грн.

По результатам поведенных исследований в технологическую инструкцию по производству чугуна ОАО «МК „Азовсталь“» внесены соответствующие изменения и дополнения. Основные изменения к технологической инструкции предусматривают:

– принятие мер для предупреждения загромождения горна при снижении показателя горячей прочности кокса CSR менее 42 %;

– применение пекового кокса с целью предупреждения и устранения загромождения горна;

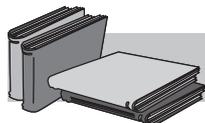
– ежесменную загрузку сырой руды с целью вывода щелочей из печи, способствующих разрушению кокса.

Выводы

1. Горячая прочность кокса CSR оказывает значительное влияние на состояние горнов доменных печей. Снижение показателя CSR на каждый 1 % приводит к увеличению количества сгоревших за месяц воздушных фурм по доменному цеху годовой производительностью 4,7 млн т на 11-15 шт.

2. Применение пекового кокса способствует улучшению работы горна доменных печей, предупреждает загромождение горна и способствует уменьшению частоты прогара воздушных фурм. Целесообразно использовать пековый кокс как средство по улучшению состояния горна на печах, более склонных к его загромождению. При этом, для достижения требуемого эффекта, среднемесячный расход пекового кокса должен составлять 3-40 % от общей массы каменноугольного и пекового коксов.

3. Основной положительный эффект применения пекового кокса обусловлен его более высокой горячей прочностью CSR и низкой реакционной способностью CRI.



ЛИТЕРАТУРА

1. *Металлургия чугуна: учебник для вузов* / Е. Ф. Вегман, Б. Н. Жеребин, А. Н. Похвиснев и др. – М.: Академкнига, 2004. – 774 с.
2. *Анализ показателей и процессов доменной плавки* / И. Г. Товаровский, В. В. Севернюк, В. П. Лялюк. – Днепропетровск: Пороги, 2000. – 419 с.
3. *Современные проблемы технологии доменной плавки* / В. П. Лялюк. – Днепропетровск: Пороги, 1999. – 162 с.
4. *Изменение интенсивности доменной плавки при использовании кокса с различной горячей прочностью* / Р. В. Ковальчик, А. А. Томаш, Ю. А. Зинченко // *Металл и литье Украины*. – 2008. – № 7-8. – С. 27-30.
5. А. с. № 1216199. СССР. МКП С21В 3/00. Способ подачи восстановительных добавок в доменную печь / И. Т. Хомич, И. Г. Товаровский, Б. И. Бондаренко и др.
6. А. с. № 1404524. СССР. МКП С21В 3/00. Способ промывки горна доменной печи, работающей с подачей восстановительных добавок / И. Г. Товаровский, В. П. Лялюк, И. Т. Хомич и др.
7. А. с. № 1276664. СССР. МКП С21В 3/00. Способ промывки горна доменной печи / Р. Д. Каменев, В. П. Лялюк, И. Г. Ризницкий и др.
8. Пат. 42571 України, МПК С21В 3/00. Спосіб завантаження доменної печі / Д. А. Лівшиц, О. Б. Третьяков, Р. В. Ковальчик та ін. – Опубл. 10.07.2009, Бюл. № 13.

Summary

R. Kovalchick

Application of pekovogo coke for removal and warning of encumbered of furnaces of blast – furnaces

Coke hot strength rate (CSR) influence upon BF air tuyere life has been analyzed.

Relation between coke hot strength variation and replaced burnt tuners was determined so terms of PJSC «Azovstal iron and steel works» blast-furnace shop. A new method of blast-furnace hearth blockage prevention and elimination using pitch coke was suggested and studied, advantages of the suggested method against existing techniques were shown

Р. В. Ковальчик

Застосування пекового коксу для усунення та попередження захаращення горнів доменних печей

Виконано аналіз впливу гарячої міцності коксу (CSR) на стійкість повітряних фурм. Встановлена залежність між показником гарячої міцності коксу та кількістю заміненних горілих повітряних фурм в умовах доменного цеху ВАТ «МК „Азовсталь“». Запропоновано та досліджено новий спосіб попередження та усунення захаращення горна доменних печей, показані переваги запропонованого способу у порівнянні з існуючими

Воздушная фурма, загромождение горна, доменная печь, пековый кокс, горячая прочность, реакционная способность

УДК 669-14: 303.732.4:164.3

В. Н. Цуркин (ИИПТ НАНУ)

Принципы системного подхода к выбору методов внепечной обработки расплава

Многообразие требований, предъявляемых к отливкам, обусловленное широким применением литой продукции в самых разнообразных отраслях промышленности, оправдывает применение различных принципов организации литейных производственных участков, использование разнообразных сырьевых ресурсов и множество методов обработки, которые применяют на всех стадиях технологической цепочки «шихта-расплав-отливка», разнесенных как во времени, так и территориально. Как правило, эти методы являются многоцелевыми и многофункциональными, и, как подчеркивается в работе [1], нельзя выделить какой-нибудь один из них, универсальный метод, который бы однозначно обеспечивал требуемое качество отливки. Кроме того, анализируя литейное производство, например, как это сделано в работе [2], можно выделить порядка 10^3 различных факторов, оказывающих прямое либо косвенное влияние на показатели качества конечной продукции. В целом это затрудняет принятие обоснованных решений при проектировании или модернизации литейных производственных участков, которые в рыночных условиях, прежде всего, должны быть направлены на реализацию конечной цели – оптимального соотношения «цена-качество» продукции, получаемой методами литья.

Анализ показывает [3], что используемые на практике методы и средства контроля и управления качеством в литейном производстве отличаются

В рамках представлений о методологии структурирования системы управления качеством литого металла в общей постановке предложена и проанализирована система признаков, характеризующая проблему выбора методов внепечной обработки расплава, основанных на внешнем физическом воздействии на металл

не только методологией выбора, но и их конечной результативностью. При этом разработки последнего времени свидетельствуют о том, что система управления качеством будет наиболее эффективной, если ее выбор основывается на системном подходе, базовые принципы которого на фундаментальном уровне достаточно хорошо изучены и обсуждались ранее в работе [4]. Преимущества такого подхода заключаются, прежде всего, в том, что здесь обеспечивается комплексный учет многообразия ключевых факторов, влияющих на качество литого металла.

Важными характеристиками любой системы являются ее целостность и упорядоченность [5]. Основная познавательная процедура при описании такой системы сводится к поиску общих и индивидуальных признаков ее элементов, и чем больше находится общих признаков, тем более успешно можно структурировать систему. Одним из методов определения таких признаков является метод классификации подсистем, которые трактуются по категории «отношение» с выделением субординации главных и второстепенных элементов системы.

Обобщенную систему управления качеством