



Лялюк В.П. /д.т.н./, Соколова В.П. /к.т.н./,
Ляхова И.А. /к.т.н./, Кассим Д.А. /к.т.н./
Криворожский металлургический институт КНУ

Тараканов А.К. /д.т.н./
НМетАУ

Возможности улучшения качества кокса за счёт стабилизации состава и свойств угольной шихты

Дана оценка колеблемости качества поступающих на коксование углей различных марок и поставщиков, а также угольной шихты по показателям технического, петрографического анализа, пластометрии. Определены значительные колебания влажности, зольности, серы, толщины пластического слоя, содержания витринита, суммы отощающих компонентов. Колебания качества угольной шихты обуславливают нестабильность качества кокса и, следовательно, его высокий расход в доменной плавке. Для повышения стабильности качественных показателей углей и угольной шихты необходимо повышение эффективности усреднения отдельных марок углей и смешивания шихты. Ил. 5. Библиогр.: 9 назв.

Ключевые слова: угольная шихта, уголь, кокс, доменная плавка, стабильность, колеблемость, среднеквадратичное отклонение, коэффициент вариации, усреднение, смешивание

The estimation of quality variability of acting on coking coals of different ranks and suppliers is given on indexes technical, petrographic analyses, plastometry. The considerable fluctuations of moisture content, ash-content, sulphur content, plastic layer thickness, vitrinite maintenance, sum of lean components are determined. The variability of coal batch quality stipulate instability of coke quality and, consequently, its high expense in the blast furnace melting. The increase of efficiency of coal ranks blending and mixing of coal batch is needed for the increase of stability of coal quality indexes.

Keywords: coal batch, coal, coke, blast furnace melting, variability, stability, mean-square deviation, variation coefficient, coal blending, mixing.

Одним из основных факторов, определяющих эффективность работы доменных печей и качество чугуна, является высокое качество кокса. Для снижения себестоимости металлургической продукции, в первую очередь, необходимо уменьшать затраты на технологическое топливо в доменной плавке [1, 2].

Существуют определённые зависимости между отдельными параметрами качества кокса и удельным расходом кокса, а также производительностью доменных печей [1, 3, 4]. В соответствии с ними, удельный расход кокса и производительность доменных печей определяются не только абсолютными показателями качества кокса, но и отклонениями от них. Так, разработанные в работе [3] математические модели позволяют дать количественную оценку влияния на производительность доменной печи и удельный расход кокса как абсолютных значений наиболее важных показателей его качества (зольности, выхода летучих, сернистости, содержания класса более 80 мм и др.), так и их колеблемости.

Например, увеличение среднеквадратичного отклонения от среднего значения сернистости кокса за трое суток на 0,02 % приводит к снижению производительности доменной печи на 1 % и увеличению удельного расхода кокса на 4,8 кг. Увеличение колеблемости прочности кокса по показателю M_{40} на 0,5 % приводит к увеличению расхода кокса на 9,6 кг/т чугуна.

Повышенная колеблемость состава и свойств кок-

са снижает стабильность доменной плавки и состава чугуна, что вынуждает доменщиков для недопущения выплавки некондиционного по сере чугуна работать с увеличенным запасом теплоты в горне, перерасходуя кокс. Повышенный удельный расход кокса приводит к пропорциональному снижению производительности печи. Кроме того, увеличение колеблемости прочности кокса способствует загромождению горна мелким коксом и может приводить к серьёзным технологическим расстройствам в работе доменной печи и к значительному ухудшению технико-экономических показателей плавки.

Например, в работе [4] показано влияние на производительность доменной печи Череповецкого металлургического завода и удельный расход кокса показателей колеблемости содержания в коксе золы, серы и летучих веществ, прочности, истираемости и влажности кокса. В качестве критерия оценки колеблемости показателей качества кокса во времени использовано среднеквадратичное отклонение от среднего значения за единичный период длительностью трое суток. В работе четко показано, что колеблемость показателей качества кокса, наряду с их абсолютными значениями, существенно влияет на результаты доменной плавки. Так, увеличение колеблемости истираемости кокса на 0,1 % увеличивает расход кокса на 1,6 % и снижает производительность доменной печи на 1,2 %.

В настоящее время наиболее значительное со-

крашение удельного расхода возможно при использовании технологии вдувания пылеугольного топлива (ПУТ). Опыт внедрения технологии вдувания ПУТ [5] на металлургических предприятиях Украины показывает, что без высоких показателей качества кокса и их стабильности достигнуть ожидаемого снижения расхода кокса не удаётся.

Исходя из вышесказанного, для снижения удельного расхода кокса в доменной плавке необходимо не только повышение, но и стабилизация показателей

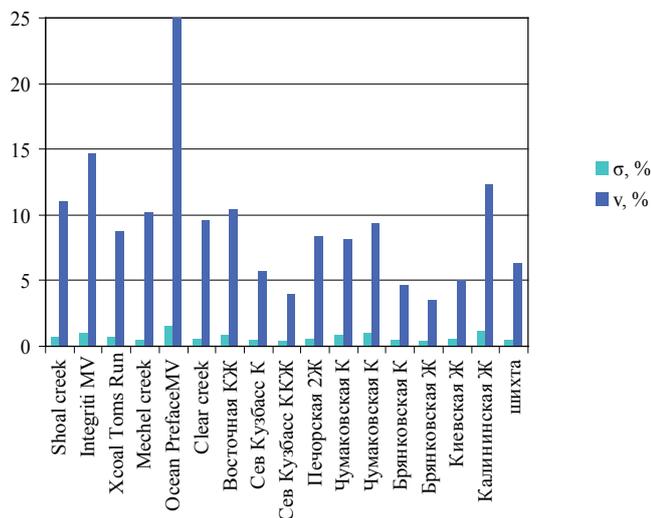


Рис. 1. Колеблемость влажности различных углей и шихте его качества.

В работе [6] выполнена оценка колеблемости показателей прочности кокса в связи с непосредственным её влиянием, наряду с абсолютными показателями, на производительность доменной печи и расход кокса. Установлено, в частности, что колеблемость показателя истираемости кокса (M_{10}) в ПАТ «Арселор Миттал Кривой Рог» в 2011 г. доходила до 0,23 %, что в соответствии с данными исследований [4], обуславливает повышение удельного расхода кокса в доменной плавке на 3,7 % и снижение производительности доменной печи на 2,8 %.

Исследованиями [6] также установлено, что колеблемость показателей M_{10} и M_{25} находится в достаточно тесной связи с колебаниями показателей качества шихты, в частности, ее влажности и зольности. Так, увеличение колеблемости влажности и зольности шихты на 1 % вызывает увеличение колеблемости показателя истираемости кокса на 0,1 %. При этом в качестве критерия оценки колеблемости показателей принято среднеквадратичное отклонение от среднего значения за месяц.

Стабилизация свойств кокса обеспечивается, главным образом, усреднением углей и угольной шихты. Существенные изменения, произошедшие за последние годы в сырьевой базе коксования, связаны с использованием в угольных шихтах для коксования углей различных бассейнов, существенно отличающихся друг от друга по важнейшим технологическим свойствам. По данным работы [7], в настоящее время на коксохимическое производство ПАТ «Арселор

Миттал Кривой Рог» поступает до 15 марок угольных концентратов. Неритмичность поставки такого большого числа марок угля и колебания их физико-химических параметров снижают качество кокса и стабильность показателей его качества.

Авторами работы [7] проанализирована степень смешивания угольной шихты по различным показателям качества, в том числе по влажности, выходу летучих веществ, зольности, сернистости, толщины пластического слоя, содержанию витринита и суммы отошающих компонентов. Установлено, что степень смешивания по всем показателям далека от оптимальной, которая должна составлять 98-99 %.

Низкая степень смешивания шихты обусловлена не только большим количеством используемых в шихте марок угля, неритмичностью их поставок и отсутствием на коксохимическом производстве организованного смешивания углей, но и значительными колебаниями показателей качества отдельных марок

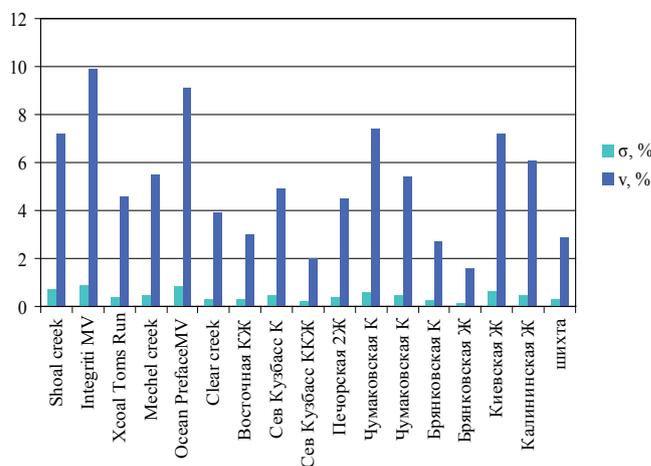


Рис. 2. Колеблемость зольности различных углей и шихте угля.

Необходимо использовать эффективные режимы усреднения поступающих на коксование углей, что позволит максимально уменьшить колеблемость основных показателей качества шихты [8].

Актуальность вышесказанного подтверждается также исследованиями, выполненными авторами настоящей работы. Нами изучена колеблемость углей и угольной шихты ПАТ «АрселорМиттал Кривой Рог» за период январь-декабрь 2011 г. по показателям технического анализа, пластометрическим и петрографическим параметрам. Колеблемость показателей оценивалась по среднеквадратичному отклонению σ (для однородных показателей) и коэффициенту вариации ν (в случае сравнения колеблемости различных показателей качества, имеющих неодинаковую среднюю величину).

На рис. 1-5 приведены среднеквадратичные отклонения и коэффициенты вариации влажности, зольности, толщины пластического слоя, содержания витринита и суммы отошающих компонентов.

По данным рис. 1 видно, что более значительные колебания влажности характерны для углей дальнего зарубежья ($\sigma = 0,64-1,59$; $\nu = 8,8-25$ %). Среднеквадра-

тичное отклонение и коэффициент вариации влажности углей украинских и российских производителей в

течение года составляют, соответственно, 0,35-1,19 и 3,6-9,5 %. Для шихты аналогичные показатели равны 0,52 и 6,3 %.

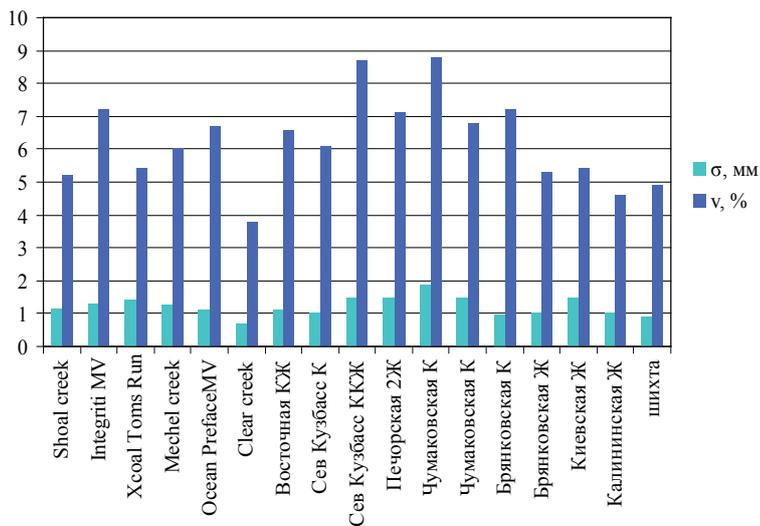


Рис. 3. Колеблемость ширины пластического слоя различных углей и шихте

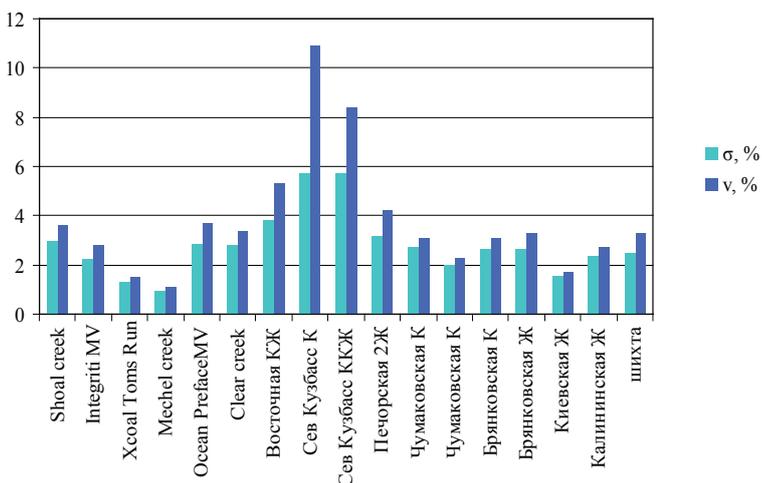


Рис. 4. Колеблемость содержания витринита в различных углях и шихте

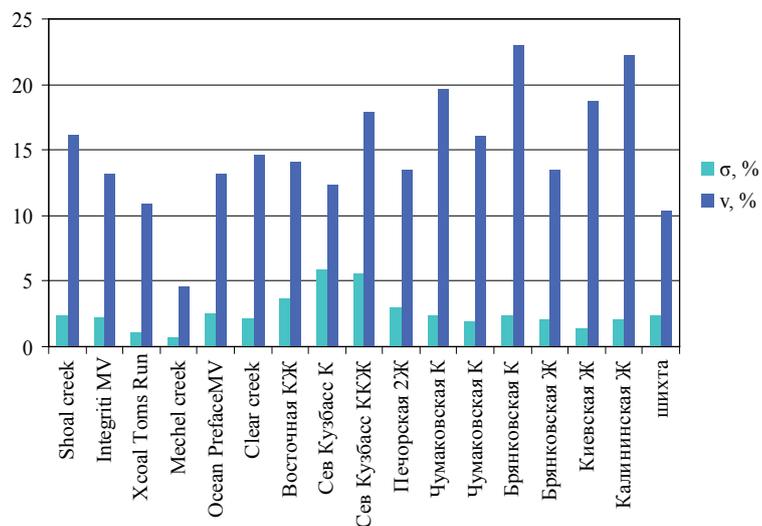


Рис. 5. Колеблемость суммы отощающих компонентов в различных углях и шихте

Колебания зольности (рис. 2) менее значительны, коэффициент вариации этого показателя за год не превышает 10 % (1,6-9,9 %). При этом наиболее стабильными по составу оказались угли внутренних поставщиков компании «АрселорМиттал».

По показателю толщины пластического слоя угли наиболее равномерны. Среднеквадратичное отклонение и коэффициент вариации составляют 0,71-1,85 мм и 3,8-8,8 %, соответственно. Для шихты эти показатели составляют, соответственно, 0,91 мм и 4,9 % (рис. 3).

Наиболее нестабильны по содержанию витринита петрографически неоднородные угли Кузнецкого бассейна (рис. 4). Коэффициент вариации этого показателя достигает для них 8,4-10,9 %, в то время как для углей других марок и поставщиков относительное колебание (коэффициент вариации) содержания витринита не превышает 4,2 %. Среднеквадратичное отклонение и коэффициент вариации содержания витринита в шихте составляют, соответственно, 2,48 % и 3,3 %.

Угли исследованных марок наиболее нестабильны по сумме отощающих компонентов (рис. 5). Коэффициент вариации этого показателя составляет 4,6-23 %. Для шихты данный показатель составляет 10,4 %.

Необходимо отметить, что нестабильность показателей качества углей, поступающих на коксование, различна в течение года. Нами проанализирована динамика изменения колеблемости показателей качества углей по месяцам 2011 г. За критерий оценки колеблемости показателей принято среднеквадратичное отклонение от среднего значения за месяц.

Практически для всех марок угля характерна различная колеблемость всех показателей качества по месяцам рассматриваемого года. Так, например, коэффициент вариации влажности угля *Shoal creek* изменялась от 3,8 % в марте до 16,2 % в июле; зольности – от 2,1 % в мае до 13,7 % в июле; толщины пластического слоя – от 10,2 % в марте до 1,9 % в мае и т.д. Зольность угля *Integriti MV* была наиболее нестабильной в июле (коэффициент вариации составил 15 %), а в марте колебания зольности были незначительны – коэффициент вариации был на уровне всего 2,3 %.

Интересно заметить, что наиболее стабильными по большинству показателей качества являются угли *Воркутауголь 2Ж* и *Брянковская К*. Для них характерны наименьшие значения коэффициентов вариации (до 8-9

%) показателей качества в целом за год и по месяцам поставок.

Высокая колеблемость качества используемых углей неизбежно влияет и на стабильность качества угольной шихты.

Так, например, при величине коэффициента вариации влажности шихты за год 6,3 % (рис. 1) в отдельные месяцы она превышает 8 %, а при коэффициенте вариации зольности шихты за год 2,9 % (рис. 2), в отдельные месяцы его величина достигает 5,3-5,7 %. Аналогично и по другим показателям.

Таким образом, приведенные данные свидетельствуют, что в течение года равномерность качества углей и шихты невысокая, что свидетельствует о недостаточной эффективности операций усреднения углей и смешивания шихты. Имеющиеся существенные колебания качества углей и шихты обуславливают необходимость обязательного применения мероприятий по усреднению отдельных марок углей при их складировании и подаче в производство, а также усреднения и организованного смешения угольной шихты.

Достижимая эффективность усреднения в бункерах закрытого склада более низкая, чем в штабелях. Для повышения эффективности усреднения углей при одновременной выдаче угля из нескольких бункеров целесообразно, чтобы половина бункеров (силосов), из которых выдаётся уголь, была заполнена примерно на 50 %, а вторая половина – на 100 %. Кроме того, увеличение числа одновременно работающих бункеров на одной и той же марке угля снижает среднее квадратичное отклонение показателя качества угля в соответствии с известной зависимостью [9]

$$\sigma_2 = \sigma_1 / \sqrt{n}$$

где σ_1 и σ_2 – среднее квадратичные отклонения показателя качества данного компонента для угля в бункерах и после бункеров, соответственно; n – число одновременно работающих бункеров.

То есть равномерность показателей качества шихты существенно зависит от числа бункеров, из которых одновременно выдаётся компонент. Рекомендуется, чтобы дозирование обогащённых концентратов при составлении угольной шихты проводилось одновременно из 9-10 бункеров.

При сложившейся в настоящее время производственной ситуации на КХП ПАТ «АрселорМиттал Кривой Рог» (работают только 1-4 батареи), существует возможность использовать свободные бункера закрытого склада с тем, чтобы повысить эффективность усреднения угольной шихты в соответствии с выше изложенными рекомендациями.

Для улучшения усреднения угольной шихты необходимо также, чтобы число бункеров, в которые производится загрузка углей с одновременной их выдачей, не превышало 20 % от общего числа дозирочных бункеров, так как загрузка угля в бункер с одновременным его опорожнением не обеспечивает усреднения углей, а по некоторым показателям, например, по выходу летучих, даже приводит к сегрегации.

Достигнутое снижение колеблемости качества угольной шихты позволит стабилизировать качество доменного кокса, что, в свою очередь, обусловит снижение его удельного расхода в доменной плавке доменных цехов ПАТ «АрселорМиттал Кривой Рог».

Библиографический список

1. Товаровский И.Г., Лялюк В.П. Эволюция доменной плавки. – Днепропетровск: Пороги, 2001. – 424 с.
2. Тараканов А.К., Лялюк В.П., Кассим Д.А. Обоснование современных подходов к оценке качества доменного кокса // *Сталь*. – 2011. – № 7. – С. 20-22.
3. Мучник Д.А., Дробная Л.М. Влияние колеблемости качества кокса на работу доменных печей // *Кокс и химия*. – № 12. – 1974. – С. 9-12.
4. Оценка влияния качества кокса на показатели доменной плавки / В.А. Улахович, В.И. Солодков, К.А. Штец и др. // *Металлург*. – № 7. – 1982. – С. 16-18.
5. Лялюк В.П., Товаровский И.Г., Тараканов А.К. Проблемы реализации вдувания пылеугольного топлива и альтернативных технологий доменной плавки // *БНТИ Черная металлургия*. – 2011. – № 11. – С. 20-26.
6. Стабильность качества кокса для доменной плавки / В.П. Лялюк, В.П. Соколова, И.А. Ляхова и др. // *Кокс и химия*. – № 8. – 2012. – С. 19-24.
7. Оценка степени однородности угольной шихты / В.П. Лялюк, В.А. Шеремет, А.В. Кекух и др. // *Металлург. и горноруд. пром-сть*. – № 4. – 2010. – С. 18-21.
8. Шатоха И.З., Иваницкий В.З., Шатоха В.И. Технология подготовки угля на стадии усреднения для производства доменного кокса. – Днепропетровск: Пороги, 1997. – 244 с.
9. Зашквара В.Г. Подготовка углей к коксованию. – М.: Металлургия, 1967. – 340 с.

Поступила 02.04.2013