

МЕТАЛУРГІЯ ЧАВУНУ

УДК 338:669.162

© Шмельцер Е.О.¹, Лялюк В.П.², Соколова В.П.³

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПОДГОТОВКИ УГОЛЬНЫХ ШИХТ НА КАЧЕСТВО МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО КОКСА

Проанализировано влияние показателей качества угольной шихты на металлургические свойства кокса. Установлено, что высокая влажность угольной шихты наиболее сильно влияет на прочность кокса. В условиях ухудшающейся сырьевой базы коксования большое значение имеет качество подготовки угольной шихты, которое заключается в снижении влажности угольной шихты и правильно выбранной ее степени дробления.

Ключевые слова: угольная шихта, степень дробления, насыпная масса, влажность шихты.

Шмельцер К.О., Лялюк В.П., Соколова В.П. Дослідження впливу підготовки вугільних шихт на якість металургійного коксу. Проаналізовано вплив показників якості вугільної шихти на металургійні властивості коксу. Встановлено, що висока вологість вугільної шихти найбільш сильно впливає на показники міцності коксу. В умовах сировинної бази, яка погіршується, велике значення має якість підготовки вугільної шихти, яка полягає в зниженні вологості вугільної шихти та правильно підібраному ступеню подрібнення.

Ключові слова: вугільна шихта, ступінь подрібнення, насипна маса, вологість шихти.

K.O. Shmeltser, V.P. Lyalyuk, V.P. Sokolova. Influence of coal batch preparation on the quality of metallurgical coke. To study the influence of coal batch properties on coke strength we have considered the quality of the coke produced at the plant in Krivoy Rog from 2008 till 2012. Such factors as the large number of coal suppliers, imprecise selection of the optimal degree of batch crushing result in the decline in coke quality, the batch density and contents of the lean class (<0,5 mm) are not optimum; poor blending of the batch after crushing; increased moisture and ash content of the coking batch; and extreme fluctuation in the coal and batch characteristics. It was found that high humidity of coal batch and its large fluctuations has most profound effect on the mechanical properties of coke. Under deteriorating resource base the quality of the coking batch preparation is important, To have batch of proper quality the following key aspects must be taken into account: the batch must be crushed to an optimum degree that will result in leaning components decrease and increased contents of vitrivite in it which improves the sinterability and coking, and hence the quality of coke; the degree of mixing of the coking batch in all indices must be up to 98-99%, for uneven distribution in the coal chamber worsens the quality of coke.

Keywords: coal batch, crushing degree, bulk weight, moisture of batch.

Постановка проблемы. В сложившихся условиях дефицита хорошо коксующихся и лег-

¹ ст. преподаватель, Криворожский металлургический институт ГВУЗ «Криворожский национальный университет», г. Кривой Рог, shmel0402@ua.ru

² д-р техн. наук, профессор, Криворожский металлургический институт ГВУЗ «Криворожский национальный университет», г. Кривой Рог, lyalyuk.vitalij@mail.ru

³ канд. техн. наук, доцент, Криворожский металлургический институт ГВУЗ «Криворожский национальный университет», г. Кривой Рог, vsokolova@mail.ru

кообогатимых углей, использования в шихте для коксования углей различных бассейнов, существенно отличающихся по технологическим свойствам, и неритмичности поставки угольных концентратов на коксохимические предприятия обеспечить высокое качество кокса и стабильность его физико-механических свойств очень сложно. Ухудшения в угольной базе коксования хорошо были видны уже в середине прошлого века, когда были предложены и разработаны основные направления и способы повышения качества кокса в изменяющихся условиях с марочным составом углей [1-4]. Однако проблема совершенствования технологии подготовки углей к коксованию остается актуальной и требует повышенного внимания.

Анализ последних исследований и публикаций. Способность кокса выполнять функции в доменном процессе обуславливается совокупностью и уровнем его химических, физико-химических и физических свойств [5]. При этом качество кокса и его стабильность в решающей мере зависят от состава угольной шихты, эффективности ее подготовки и в меньшей мере – от режима коксования [6, 7]. При подготовке углей и шихт для коксования главным фактором является насыпная масса угольной шихты. В то же время наибольшее влияние на насыпную массу угольной шихты, без применения механических способов ее увеличения (трамбование, брикетирование и т.д.), оказывает содержание в ней влаги, золы и степень помола шихты [1-3]. В связи с этим одним из первостепенных в ряду мероприятий, направленных на улучшение качественных показателей кокса, является оптимизация качества угольных шихт путем достижения оптимальных показателей влажности, зольности, степени дробления, а также обеспечения высокой степени смешивания угольных концентратов, входящих в угольную шихту для коксования.

Цель статьи. С целью определения влияния перечисленных факторов на эффективность подготовки угольной шихты и качественные показатели кокса в 2008-2012 гг. были проведены исследования в углеподготовительном цехе (УПЦ) коксохимического производства (КХП) ПАО «АрселорМиттал Кривой Рог».

Изложение основного материала. Используя методику и схему отбора проб угольной шихты [8] в сечении потока на транспортной ленте, провели отбор точечных проб массой 200 грамм для определения технических, пластометрических и петрографических параметров шихты и проб массой 16 кг для определения насыпной массы и гранулометрического состава шихты на 3-й очереди УПЦ КХП предприятия. Нагрузка на ленте 3-й очереди УПЦ в этот период была 300 т/час. Качество исследуемых угольных концентратов приведено в таблице 1.

Таблица 1

Ситовый состав углей используемых в шихте УПЦ КХП

| Марка угля, ЦОФ | Фракционный состав угля, мм | | | | | Насыпная масса, кг/м ³ | Влага, % |
|-------------------------------|-----------------------------|-------|-------|-------|-------|-----------------------------------|----------|
| | +6 | 6-3 | 3-0,5 | 0-0,5 | 0-3 | | |
| К – Укркокс | 12,15 | 18,60 | 40,08 | 29,17 | 69,25 | 914 | 19,8 |
| Ж – Краснолиманская | 40,56 | 19,74 | 23,10 | 16,60 | 39,7 | 871 | 10,5 |
| Ж – Укркокс | 12,48 | 13,33 | 41,05 | 33,14 | 74,19 | 859 | 14,4 |
| Ж – Киевская | 2,86 | 5,98 | 49,81 | 41,35 | 91,16 | 832 | 12,0 |
| 2Ж – Печерская | 29,48 | 14,56 | 25,10 | 30,86 | 55,96 | 841 | 10,5 |
| ГЖ – Распадская | 16,93 | 18,37 | 36,98 | 27,72 | 64,70 | 891 | 13,6 |
| К – Северная | 19,95 | 15,24 | 32,32 | 32,49 | 64,81 | 847 | 12,7 |
| К+КО+ОС – Северная | 14,08 | 12,93 | 34,37 | 38,62 | 72,99 | 927 | 17,2 |
| К+КЖ – Восточная | 6,68 | 9,52 | 40,4 | 43,40 | 83,80 | 801 | 12,6 |
| Польша Т34 (Г) | 38,29 | 15,99 | 32,69 | 13,03 | 45,72 | 859 | 9,15 |
| США «Alpha» (К1) | 6,25 | 14,70 | 44,95 | 34,15 | 79,10 | 890 | 14,4 |
| Канада «Eagle» (К) | 14,05 | 12,81 | 34,62 | 38,52 | 73,14 | 831 | 12,1 |
| США «Coking Coal Pardee» (ГЖ) | 42,65 | 13,76 | 22,24 | 21,35 | 43,59 | 870 | 11,0 |

По результатам проведенных исследований построили графики влияния содержания классов 0-3 мм и 0-0,5 мм на насыпную массу шихты (рис. 1, 2).

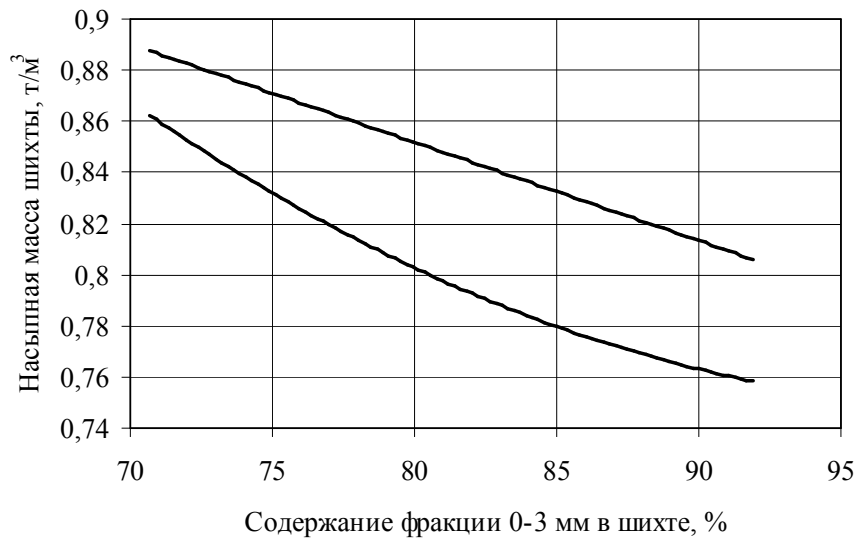


Рис. 1 – Зависимость насыпной массы угольной шихты от степени ее помола (при средних значениях влажности шихты: верхняя кривая – 5,6%, нижняя – 11,2%)

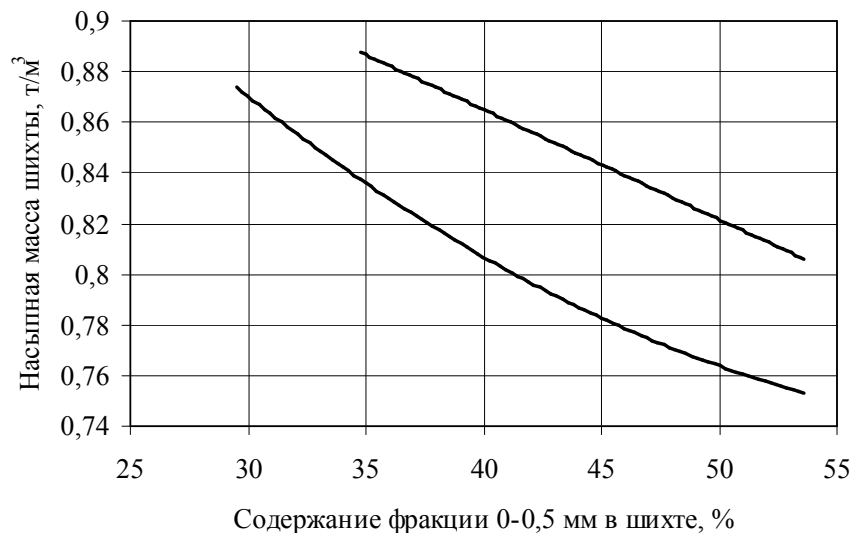


Рис. 2 – Зависимость насыпной массы угольной шихты от содержания в ней фракции 0-0,5 мм при средних значениях влажности шихты: верхняя кривая – 5,6%, нижняя – 11,2%

Из анализа графиков видно, что при увеличении степени помола шихты с 71 до 92% (рис. 1) при ее средней влажности 11,2% насыпная масса снижается с 0,862 до 0,761 т/м³, т.е. повышение степени дробления шихты на 1% снижает ее насыпную массу на 4,8 кг/м³, а при средней влажности шихты 5,6% – на 3,9 кг/м³. Необходимо отметить, что при постоянной степени дробления шихты ее насыпная масса тем выше, чем ниже содержание влаги в шихте.

Содержание фракции 0-0,5 мм на теоретически оптимальном уровне 32% [9] (рис. 2), даже при влажности шихты 11,2%, обеспечивает довольно высокое значение насыпной массы шихты 0,86 т/м³, а при влажности 5,6% можно ожидать повышения насыпной массы шихты до 0,91 т/м³; во всяком случае, экспериментально получено, что при содержании в шихте 35% «отошающей» фракции 0-0,5 мм при влажности 5,6% насыпная масса шихты равна 0,885 т/м³.

Переизмельчение шихты и увеличение в ней фракции 0-0,5 мм до 54% приводит к резкому уменьшению насыпной массы шихты до 0,75 т/м³. Ситуацию можно улучшить, если целена-

правленно снизить влажность угольной шихты с 11,2 до 5,6%, при этом насыпная масса шихты увеличится до 0,81 т/м³.

Исследование углей, используемых для составления шихт на КХП (табл. 1), показало, что большая их часть уже изначально содержит класс 0-0,5 мм на уровне и даже выше оптимального его значения в шихте. В связи, с этим при степени дробления шихты 87,7-89,2% в ней содержание класса 0-0,5 мм равно 46-49%, что, безусловно, сказывается на качестве кокса. При таком высоком содержании фракции 0-0,5 мм в углях необходимо применять технологии предварительного гранулирования или брикетирования этой фракции для повышения насыпной массы шихты, а некоторые марки углей, например, «Ж – Киевская» вообще нежелательно подвергать дальнейшему измельчению (табл. 1), следуя «классическому» принципу, что при подготовке шихт к коксованию «не надо дробить ничего лишнего».

Исследуя методом петрографического анализа угольную шихту, отобранную до и после дробления на третьей очереди УПЦ КХП, получили следующие результаты. Петрографический состав угольной шихты до дробления: витринит (V_t) – 79,2%, сумма фюзенизированных компонентов (отошающих компонентов) – 17,8%. Петрографический состав угольной шихты после дробления: витринит (V_t) – 67,0%, сумма отошающих компонентов 29,0%. В исследуемом диапазоне содержание витринита (V_t) снижается на 12,2%, а сумма отошающих компонентов увеличивается на 11,2%, т.е. спекающая и коксующая способность шихты уменьшается [10].

Для подтверждения изменения петрографического состава угольной шихты при дроблении провели еще один эксперимент. Отбрали шихту до дробилки на третьей очереди УПЦ КХП, тщательно ее усреднили и разделили на три части. Одна часть шихты – базовая недробленая шихта с содержанием фракции 0-3 мм 55,5%, и две подвергнутые измельчению на лабораторной молотковой дробилке до содержания класса 0-3 мм 75,5 и 96,2% (табл. 2).

Таблица 2

Гранулометрический состав трех проб различной степени измельчения

| № п.п. | +6 мм | 6-3 мм | 3-0,5 мм | 0-0,5 мм | 0-3 мм |
|--------|-------|--------|----------|----------|--------|
| 1 | 32,8 | 11,7 | 27,1 | 28,4 | 55,5 |
| 2 | 5,0 | 19,5 | 43,8 | 32,7 | 75,5 |
| 3 | 0,2 | 3,6 | 52,9 | 43,3 | 96,2 |

Петрографический состав трех частей угольной шихты разной степени дробления, которые получены из одной пробы, отобранной до дробилки, приведен в табл. 3.

Таблица 3

Изменение петрографических показателей трех проб различной степени измельчения

| Показатель | Номер пробы | | |
|--------------------------|-------------|------|------|
| | 1 | 2 | 3 |
| Содержание класса 0-3 мм | 55,5 | 75,5 | 96,2 |
| Витринит V_t , % | 70 | 66 | 63 |
| Σ ОК, % | 29 | 33 | 35 |

Полученный в данном эксперименте результат свидетельствует о том, что при увеличении степени дробления с 55,5 до 96,2% класса 0-3 мм содержание витринита уменьшается на 7%, а сумма отошающих компонентов увеличивается на 6%, снижая, таким образом, спекаемость и коксуюемость угольной шихты.

Чаще всего оптимальную степень дробления при изменении параметров угольной шихты определяют при помощи ящичных спеканий, подготовленных с определенным шагом ее измельчения. Имеются и ряд расчетных методов определения оптимальной степени дробления угольной шихты, которые дают неплохую сходимость с фактически принятыми на практике, но они сложны в использовании из-за большого количества дополнительных параметров углей,

которыми не всегда располагают исследовательские лаборатории коксохимических заводов [11-13].

На основании проведенных исследований мы рекомендуем [14] для оперативного определения степени измельчения в качестве критерия использовать показатель отражения витринита, значение которого изменяется в зависимости от петрографического состава углей и стадии метаморфизма. Различным маркам углей соответствуют следующие интервалы значений показателя отражения витринита (R_0), %: ДГ – 0,5-0,65; Г – 0,65-0,89; Ж – 0,9-1,19; К – 1,2-1,39; ОС – 1,4-1,69; Т – 1,7-2,59 и А – $\geq 2,6$.

Тогда оптимальная степень дробления угольной шихты, в зависимости от ее марочного состава и спекаемости, может быть определена по уравнению:

$$k = \frac{75[\sum(0,9 \div 1,39)Vt] + 90[\sum(0,5 \div 0,89)Vt + \sum(1,4 \div 2,6)Vt]}{100}, \% \quad (1)$$

где $(0,5 \div 2,6)Vt$ – показатели отражения витринита, соответствующие различным маркам углей.

Влияние содержания золы на насыпную массу шихты поступающей на батареи 1-4 КХП ПАТ «АрселорМиттал Кривой Рог» показано на рис. 3 (по батареям 5-6 зависимость аналогичная).

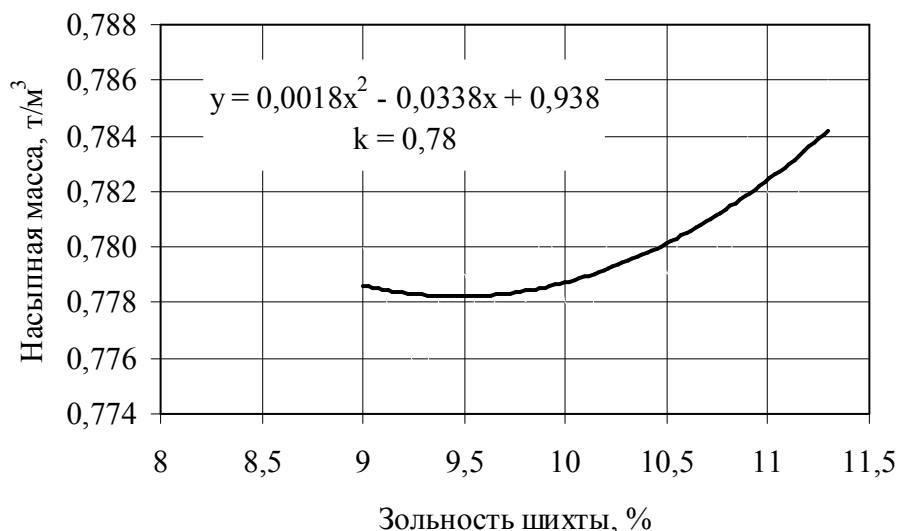


Рис. 3 – Зависимость насыпной массы угольной шихты (бат. 1-4) от зольности при средних значениях: класса -3 мм – 88,2%, влажности – 11,2%, класса -0,5 мм – 46,8%

Как видно из рисунка, с увеличением зольности угольной шихты ее насыпная масса растет за счет того, что масса минеральной части угля значительно выше его органической массы. Также необходимо учитывать, что минеральные включения являются центрами внутренних напряжений, т.е. ослабляют структуру кокса, снижая его прочность.

На рис. 4 приведен график зависимости насыпной массы угольной шихты от ее влажности, поступающей на батареи 1-4 КХП. Он имеет вид параболы с минимальным значением насыпной массы при влажности 10,3%, а рост насыпной массы происходит не за счет снижения влажности шихты, а, наоборот, за счет ее увеличения, т.е. происходит рост насыпной массы шихты за счет увеличения массы воды в шихте.

Учитывая, что влажность влияет на величину расpiration и величину усадки коксового пирога, было изучено изменение насыпной массы при испарении влаги в коксовой камере. Установлено, что чем выше исходная влага, тем сильнее уменьшается насыпная масса угольной шихты при испарении влаги в коксовой камере, что отрицательно сказывается на качестве кокса.

Анализ совместного влияния в исследуемом периоде на величину насыпной массы шихты роста влажности, зольности, степени помола шихты и содержания в ней класса 0-0,5 мм, показал преобладающее влияние влажности шихты и ее колебаний на качество кокса, что хо-

рошо иллюстрируется результатами работы коксовых батарей 1-4 КХП ПАТ «АрселорМиттал Кривой Рог» в 2011 году. В период с 01.01 по 31.07 2011 года показатели качества шихты были следующие (средние за период): $y - 18$ мм, $V_t - 75\%$, $\Sigma OK - 23\%$, $R_o - 1,11\%$, $C_{ш} - 60,7\%$, $K_{ш} - 2,6\%$. Марочный состав: $\Gamma - 10,8\%$, $Ж - 67,1\%$, $К - 14\%$, $OC - 5,5\%$ и $2,6\%$ остальные. При этом в период с 01.01 по 31.07 2011 года на этих батареях наблюдался значительный рост показателей прочности кокса M_{25} с $83,0$ до $88,6\%$ и снижение показателя истираемости кокса M_{10} с $8,6$ до $7,2\%$. Улучшению качественных показателей кокса соответствовало увеличение насыпной массы шихты с $0,774$ до $0,792$ т/м³, содержание класса 0-3 мм в шихте вначале снизилось с $88,2$ до в среднем $86,7$; а затем снова выросло до $87,6\%$.

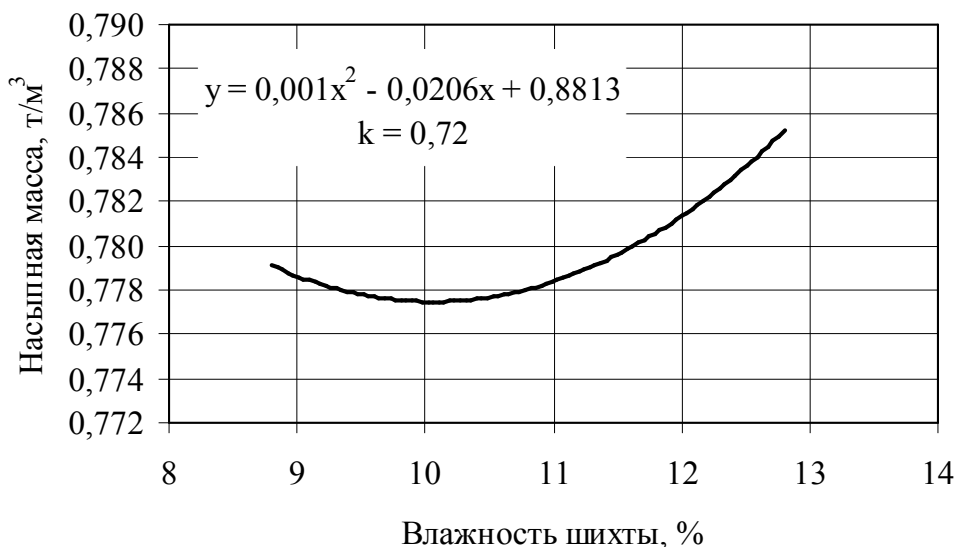


Рис. 4 – Зависимость насыпной массы угольной шихты (бат. 1-4) от ее влажности при средних значениях: класса -3 мм – $88,2\%$, зольности – $10,2\%$, класса -0,5 мм – $46,8\%$

При этом наиболее значительно за весь период снижалось содержание влаги в шихте с $11,4$ до $6,6\%$ (рис. 5), что, в общем, и привело к повышению насыпной массы шихты и улучшению качества кокса по показателям M_{25} и M_{10} .

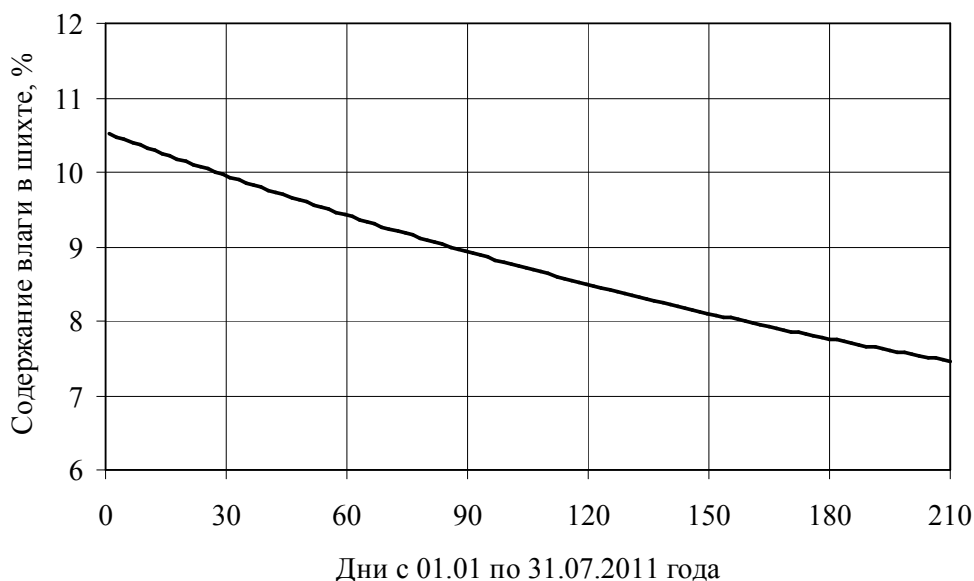


Рис. 5 – Динамика изменения содержания влаги в шихте

Следует отметить высокую колеблемость показателей M_{10} кокса и содержания влаги в шихте. Так коэффициенты вариации соответственно составили: $M_{25} - 0,54\%$, $M_{10} - 2,63\%$, насыпная масса шихты – $0,36\%$, степень дробления шихты 0-3 мм – $0,26\%$, «отощающий» класс 0-0,5 мм – $0,94\%$ и содержание влаги – $8,81\%$.

Во втором рассматриваемом периоде с 01.08 по 31.12 2011 года на 1-4 батареи поступали угольные концентраты в среднем от 8 поставщиков. Показатели качества шихты были следующие (средние за период): $y - 19$ мм, $V_t - 75\%$, $\Sigma OK - 23\%$, $R_o - 1,1\%$, $C_{ш} - 69,0\%$, $K_{ш} - 3,0\%$. Марочный состав: $\Gamma - 5,0\%$, $Ж - 75,8\%$, $К - 16,3\%$, $OC - 1,8\%$ и $1,1\%$ остальные. В период с 01.08 по 31.12 2011 года показатель прочности кокса M_{25} стал резко падать с $88,0$ до $84,5\%$, а показатель истираемости M_{10} вырос с $7,3$ до $8,0\%$.

Насыпная масса в сравнении с первым периодом увеличилась более значительно с $0,783$ до $0,820$ т/м³, содержание класса 0-3 мм в шихте резко снизили с $87,4$ до в среднем $76,6\%$, при этом также снизилось и содержание в шихте «отощающего» класса 0-0,5 мм с $46,0$ в среднем до $36,6\%$. Содержание влаги в шихте в этот период увеличилось в среднем с $7,3$ до $8,7\%$ (рис. 6) при значительной колеблемости содержания влаги в шихте, коэффициент вариации вырос с $8,81\%$ в первом периоде до $9,43\%$ во втором периоде.

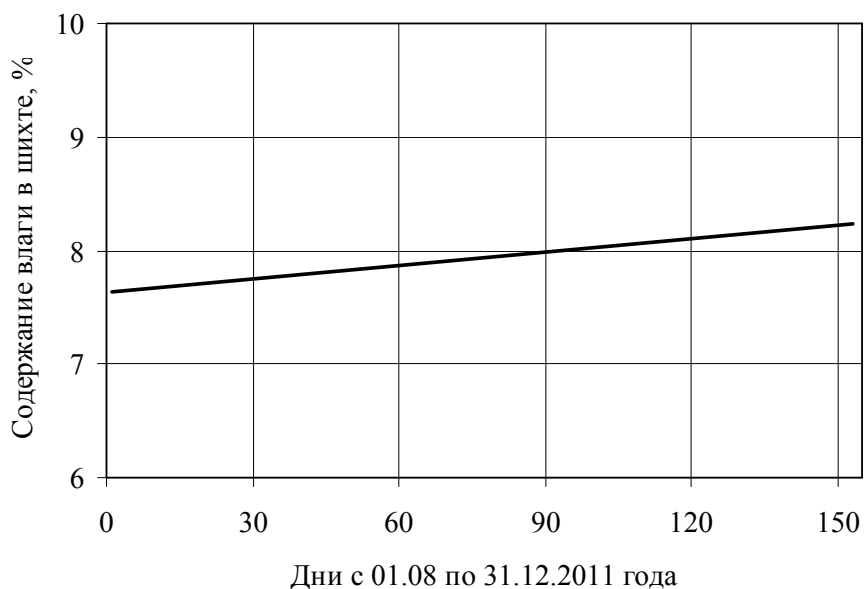


Рис. 6 – Динамика изменения содержания влаги в шихте

Коэффициенты вариации остальных показателей качества кокса и шихты во втором периоде составили: $M_{25} - 0,46\%$, $M_{10} - 2,95\%$, насыпная масса – $0,71\%$ (вырос в два раза в сравнении с первым периодом), степень дробления 0-3 мм – $0,79\%$ (вырос в три раза), «отощающий» класс 0-0,5 мм – $2,74\%$ (вырос в три раза). Таким образом, несмотря на существенный рост насыпной массы, который произошел за счет значительного снижения степени дробления и содержания в шихте «отощающего» класса, показатели качества кокса M_{25} и M_{10} ухудшились.

Это связано с доминирующим влиянием содержания влаги в шихте и ее колебаний на тепловой режим коксования и изменение градиента усадок шихты при ее коксовании. Приведенные в работе [15] регрессионные уравнения, полученные на основании данных промышленных опробований и многофакторного корреляционного анализа, подтверждают превалирующее влияние влаги на рассматриваемые показатели качества кокса и шихты.

Еще одним аспектом влияния на качество подготовки угольной шихты является степень ее смешивания. Как видно из табл. 1, на КХП в силоса закрытого склада поступает до 15 марок угольных концентратов, что значительно превышает оптимальный уровень как с позиций теории, так и технологии коксового производства (на других КХЗ Украины максимальное количество угольных концентратов, из которых составляют шихты, не превышает 5-7, а на многих коксохимических предприятиях Европы, Америки, Китая, Японии и т.д., не более 2). Ритмич-

ность поставки такого большого числа марок угля и колебания их физико-химических параметров снижают качество кокса и один из главных его показателей – стабильность. Для получения кокса постоянного качества, даже при меньшем количестве угольных концентратов, существует проблема эффективного смешения (усреднения) угольной шихты, идущей на коксование. Молотковая дробилка считается одним из эффективных смесителей, но не при таком количестве угольных концентратов. Степень смешивания шихты на 3-й очереди УПЦ, рассчитанная по выходу летучих веществ, получилась равной 86,3%, что далеко от оптимальной, экономически оправданной степени ее смешения 97-98% [16]. Степень смешивания шихты, определяемая по колебаниям ее влаги, должна быть 100% [17, 18], а получили фактическое ее значение 76,2%, в то время как влага оказывает значительное влияние на насыпную массу шихты и качество кокса. Еще более низкое значение – 45% получили для еще одного показателя технического состава шихты – содержания золы, и только степень смешивания по показателю содержания серы была высокой – 94,7%, что объясняется незначительным колебанием содержания серы в угольной шихте.

Однако самая низкая степень смешивания шихты – 20,3% получилась для «отошающего» класса 0-0,5 мм из-за того, что количество этого класса в шихте УПЦ очень высоко 46-49% и он очень неравномерно распределяется в шихте, а, как известно, содержание этого класса также оказывает значительное влияние на насыпную массу шихты и качество кокса. Показатель степени смешения шихты по изменению в пробах толщины пластометрического слоя составил 69,1%, а насыпной массы шихты – 71,4%, что также не способствует получению кокса высокого качества. Степень смешения шихты по показателям ее петрографического состава для витринита и суммы отошающих компонентов, составила, соответственно 89,7 и 88,2%, что также недостаточно для оптимальной, экономически оправданной степени смешивания, т.е. шихта нуждается в дополнительном смешивании перед подачей ее в коксовую камеру.

Выводы

В условиях ухудшения сырьевой базы коксования и неритмичности поставки угольных концентратов на коксохимические предприятия при решении проблемы качественной подготовки шихты, поступающей на коксование, должны быть учтены следующие ключевые моменты:

1. шихта должна поступать в углеподготовительные цеха с содержанием влаги не выше 6-7% или необходимо принимать меры к ее сушке на коксохимических предприятиях;
2. неперенным условием является постоянное уточнение и использование в углеподготовительных цехах оптимальной степени дробления шихты, что способствует снижению суммы отошающих компонентов шихты и росту содержания витринита в ней, что улучшает спекаемость и коксуемость шихты, а значит, и качество кокса;
3. необходимым является доведение степени смешивания угольной шихты по всем ее показателям до 98-99%, так как неравномерное их распределение в коксовой камере отрицательно сказывается на качестве кокса.

Список использованных источников:

1. Сысков К.И. Теоретические основы оценки и улучшения качества кокса / К.И. Сысков. – М.: Металлургия. – 1984. – 184 с.
2. Гофман М.В. Прикладная химия твердого топлива / М.В. Гофман. – М.: Металлургиздат, 1963. – 597 с.
3. Агроскин А.А. Расширение угольной базы коксования / А.А. Агроскин, А.К. Шелков. – М.: Металлургия, 1962. – 302 с.
4. Агроскин А.А. Физические свойства углей / А.А. Агроскин. – М.: Металлургия, 1961. – 308 с.
5. Мениович Б.И. Повышение эффективности процесса слоевого коксования / Б.И. Мениович, С.И. Пинчук, А.Г. Дюканов. – К: Техніка, 1985. – 229 с.
6. О взаимосвязи качества кокса с основными технологическими показателями доменной плавки / И.К. Беркутов, Ю.В. Степанов, Н.К. Попова, Ю.П. Петренко, В.В. Белов // Сталь. – 2007. – №5. – С. 10-12.
7. Степанов Ю.В. Теория и практика шихтовки в современных условиях / Ю.В. Степанов, Н.К. Попова, Л.А. Махортова // Кокс и химия. – 2005. – №7. – С. 6-10.

8. Мучник Д.А. О методе оценки эффективности работы смесительных машин / Д.А. Мучник // Кокс и химия. – 1962. – №9. – С. 11-15.
9. Сухоруков В.И. Научные основы и совершенствование подготовки и коксования углей / В.И. Сухоруков // Кокс и химия. – 1992. – №12. – С. 2-5.
10. Организация рационального дробления угольной шихты – путь к повышению качества кокса для доменной плавки / В.П. Лялюк [и др.] // Metallургическая и горнорудная промышленность. – 2010. – №2. – С. 48-52.
11. Оптимальная крупность углей при дифференцированном измельчении перед коксованием // В.Д. Мексин [и др.] // Кокс и химия. – 1975. – №3. – С. 1-4.
12. Фомин А.П. Расчетное определение необходимой крупности дробления угольной шихты / А.П. Фомин // Кокс и химия. – 1983. – №2. – С. 7-10.
13. Определение оптимальной степени измельчения угольных шихт при подготовке их к коксованию / А.П. Фомин [и др.] // Кокс и химия. – 1986. – №5. – С. 20-22.
14. Пат. 85803 Україна, МПК С 10 В 57/00. Спосіб підготовки вугільної шихти для коксування / В.П. Лялюк, Д.О. Кассим, І.А. Ляхова, Ф.М. Журавльов, Н.Ю. Свист, К.О. Шмельцер. – № u201308845; заявл. 15.07.2013; опубл. 25.11.2013, Бюл. № 22.
15. Лялюк В.П. Влияние влажности угольной шихты на качество кокса / В.П. Лялюк, А.Д. Учитель, И.А. Ляхова, В.П. Соколова, Д.А. Кассим // Кокс и химия. – 2012. – №9. – С. 2-8.
16. Зубилин И.Г. Улучшение качества кокса / И.Г. Зубилин, Л.П. Семисалов, И.М. Лазовский, В.И. Сухоруков // Кокс и химия. – 1975. – №5. – С. 54-57.
17. Шатоха И.З. Оценка степени смешения (однородности) угольных шихт / И.З. Шатоха, И.М. Лазовский // Кокс и химия. – 1965. – №2. – С. 1-4.
18. Бронников В.К. Влияние влажности шихты на ситовый состав металлургического кокса / В.К. Бронников // Кокс и химия. – 1975. – №3. – С. 17-20.

Bibliography:

1. Syskov K.I. Theoretical Principles for the Evaluation and Improvement of Coke / K.I. Syskov. Moscow: Metallurgiya, 1984. – 184 p. (Rus.)
2. Gofman M.V. Applied Chemistry of Solid Fuels / M.V. Gofman. – Moscow: Metallurgizdat, 1963. – 597 p. (Rus.)
3. Agroskin A.A. Expansion of Coking Resources / A.A. Agroskin, A.K. Shelkov. – Moscow: Metallurgiya, 1962. – 302 p. (Rus.)
4. Agroskin A.A. Physical properties of the coal / A.A. Agroskin. – Moscow: Metallurgiya, 1961. – 308 p. (Rus.)
5. Meniovich B.I. Improving the efficiency of the process of coking / B.I. Meniovich, S.I. Pinchuk, A.G. Dyukanov. – Kiev: Tehnika, 1985. – 229 p. (Rus.)
6. On the relationship between the quality of coke with the main technological parameters of blast furnace smelting / I.K. Bercutov, Yu.V. Stepanov, N.K. Popova, Yu.P. Petrenko, V.V. Belov // Steel. – 2007. – №5. – P. 10-12. (Rus.)
7. Stepanov Yu.V. Theory and practice of blending in modern conditions / Yu.V. Stepanov, N.K. Popova, L.A. Makhortova // Coke and Chemistry. – 2005. – №7. – P. 6-10. (Rus.)
8. Muchnik D.A. A method of evaluating the performance of mixing machines / D.A. Muchnik // Coke and Chemistry. – 1962. – №9. – P. 11-15. (Rus.)
9. Sukhorukov V.I. Scientific bases and improving the training and coking coals / V.I. Sukhorukov // Coke and Chemistry. – 1992. – №12. – P. 2-5. (Rus.)
10. Organization rational of crushing coal charge – a way to improve the quality of coke for blast furnace / V.P. Lyalyuk [et al.] // Metallurgical and Mining Industry. – 2010. – №2. – P. 48-52. (Rus.)
11. The optimal size of a differentiated grinding coal before coking / V.D. Meksin [et al.] // Coke and Chemistry. – 1975. – №3. – P. 1-4. (Rus.)
12. Fomin A.P. Settlement definition of the necessary size crushing of coal batch / A.P. Fomin // Coke and Chemistry. – 1983. – №2. – P. 7-10. (Rus.)
13. Determination of the optimal degree of crushing of coal charge in the preparation of their coking / A.P. Fomin [et al.] // Coke and Chemistry. – 1986. – №5. – P. 20-22. (Rus.)
14. Pat. 85803 Ukraine, IPC C 10 B 57/00. The method of preparation of the coal charge for coking /

- V.P. Lyalyuk, D.O. Kassim, I.A. Lyahova, F.M. Zhuravlov, N.Y. Svist, E.O. Shmeltser. – № u201308845; filed 15.07.13; publication 25.11.13, Bull. № 22. (Ukr.)
15. Lyalyuk V.P. Influence of the Moisture Content of the Coal Batch on Coke Quality / V.P. Lyalyuk, A.D. Uchitel', I.A. Lyakhova, V.P.Sokolova, D.A. Kassim // Coke and Chemistry. – 2012. – №9. – P. 2-8. (Rus.)
 16. Zubilin I.G. Improving the quality of coke / I.G. Zubilin, L.P. Semisalov, I.M. Lazovskiy // Coke and Chemistry. – 1975. – №5. – P. 54-57. (Rus.)
 17. Shatoha I.Z. Assessment of the degree of mixing (homogeneity) of coal batch / I.Z. Shatoha, I.M. Lazovskiy // Coke and Chemistry. – 1965. – №2. – P. 1-4. (Rus.)
 18. Bronnikov V.K. Influence of Batch Moisture Content on the Physicomechanical Properties of Coke / V.K. Bronnikov, E.Ya. Eidel'man // Coke and Chemistry. – 1973. – №10. – P. 12-15. (Rus.)

Рецензент: А.Д. Учитель
д-р техн. наук, проф., КМИ ГВУЗ «КНУ»

Статья поступила 16.03.2015

УДК 669.74

© Чупринов Е.В.¹, Лялюк В.П.², Журавлев Ф.М.³,
Ляхова И.А.⁴, Кассим Д.А.⁵

ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ СПЕКАНИЯ АГЛОМЕРАТА С ТВЕРДЫМ ТОПЛИВОМ РАЗНОЙ РЕАКЦИОННОЙ СПОСОБНОСТЬЮ

Проведены исследования по отработке режимов спекания двухслойных шихт с разным количеством и реакционной способностью твердого топлива в верхнем и нижнем слоях спекаемой шихты, изучены и определены оптимальные параметры твердого топлива в верхнем и нижнем участках слоя, обеспечивающих снижение его удельного расхода и улучшение металлургических характеристик агломерата.

Ключевые слова: агломерат, твердое топливо, реакционная способность, удельная производительность, прочность.

Чупринов Е.В., Лялюк В.П., Журавлев Ф.М., Ляхова И.А., Кассим Д.О. Оптимізація технологічних параметрів спікання агломерату з твердим паливом різної реакційної здатності. Проведено дослідження з відпрацювання режимів спікання двошарових шихт з різними кількістю і реакційною здатністю твердого палива у верхньому і нижньому шарах спікаємої шихти, вивчені і визначені оптимальні параметри твердого палива у верхньому і нижньому ділянках шару, що забезпечують зниження його питомої витрати і поліпшення металургійних характеристик агломерату.

Ключові слова: агломерат, тверде паливо, реакційна здатність, питома продуктивність, міцність.

¹ ассистент, Криворожский металлургический институт ГВУЗ «Криворожский национальный университет», г. Кривой Рог, itchura@gmail.com

² д-р техн. наук, профессор, Криворожский металлургический институт ГВУЗ «Криворожский национальный университет», г. Кривой Рог, lyalyuk.vitalij@mail.ru

³ канд. техн. наук, доцент, Криворожский металлургический институт ГВУЗ «Криворожский национальный университет», г. Кривой Рог, zhfm@ukr.net

⁴ канд. техн. наук, доцент, Криворожский металлургический институт ГВУЗ «Криворожский национальный университет», г. Кривой Рог

⁵ канд. техн. наук, доцент, Криворожский металлургический институт ГВУЗ «Криворожский национальный университет», г. Кривой Рог