

телям. Уголь будет легко разгружаться без больших затрат энергии на отопление вагонов в гаражах-теплицах. Некоторое повышение себестоимости угля за счет дополнительных операций обработки его химическими добавками у поставщиков перекроется снижением затрат на обогрев вагонов у потребителей угля. При этом уголь не надо будет дробить тяжелыми машинами, что обычно приводит к его переизмельчению и дополнительному “отощению”, особенно ценных марок угля, что резко сказывается на качестве кокса. Одной из важнейших задач, отвечающих за эффективность технологии обработки угольных концентратов профилактическими добавками, является обеспечение эффективности смешивания угольной шихты с добавками на уровне не ниже 96-98 %.

Список литературы

1. **Качество подготовки шихты для коксования** / В.П. Лялюк, А.Д. Учитель, И.А. Ляхова и др. // **Кокс и химия**. – 2011. – №8. – С. 2-19.
2. Стабильность качества кокса для доменной плавки / **В.П. Лялюк, В.П. Соколова, И.А. Ляхова** и др. // **Кокс и химия**. – 2012. – № 8. – С. 19-24.
3. Влияние влажности угольной шихты на качество кокса / **В.П. Лялюк, А.Д. Учитель, И.А. Ляхова** и др. // **Кокс и химия**. – 2012. – № 9. – С. 2-8.
4. **Матасов С.Ф., Куртунов Л.М., Хорунжий А.С.** Борьба со смерзаемостью при перевозке по железным дорогам. – М.: Металлургия, 1974. – 248 с.
5. **Лепнев М.И., Северинов Э.П.** Грузы и мороз. – М.: Транспорт, 1988. – 143 с.
6. **Михайлов Н.М., Шарков А.Т.** Физические свойства топлива и борьба с затруднениями на топливоподаче электростанций. – М.: Энергия, 1974. – 264 с.
8. **Кожевников Н.Н., Попов В.И.** Прогнозирование процессов промерзания в сыпучих материалах при железнодорожных перевозках. – Новосибирск: Наука, 1978. –104 с.
9. Патент России №2251603. Способ предотвращения смерзаемости дорожного покрытия // **М.В. Ачкеева, В.П. Данилов, И.В. Морозов** и др. – 2004.

Рукопись поступила в редакцию 26.02.13

УДК 669.162.16

В.П. ЛЯЛЮК, д-р техн. наук, проф.,
И.А. ЛЯХОВА, Д.А. КАССИМ, кандидаты техн. наук, доц.,
КМИ ГВУЗ “Криворожский национальный университет”
А.К. ТАРАКАНОВ, д-р техн. наук, проф.,
Национальная металлургическая академия Украины
П.И. ОТОРВИН канд. техн. наук, ПАТ “АрселорМиттал Кривой Рог”

ВЛИЯНИЕ ПОСЛЕРЕАКЦИОННОЙ ПРОЧНОСТИ КОКСА НА ЕГО УДЕЛЬНЫЙ РАСХОД В ДОМЕННОЙ ПЛАВКЕ

В доменной плавке на сегодня самыми эффективными являются технология вдувания ПУТ и широко опробованная на комбинате “Криворожсталь” технология загрузки в доменные печи кускового антрацита. Реализация этих технологий требует значительного улучшения качества кокса.

В настоящее время внедрение таких высокоэффективных технологий, как вдувание пылеугольного топлива (ПУТ) в доменные печи в количестве 150-200 кг/т чугуна или технологии использования кускового антрацита в количестве до 70-90 кг/т чугуна с коэффициентом замены кокса 0,8-1,0 кг/кг, относятся к важнейшим направлениям повышения конкурентоспособности металлургических предприятий и успешного их функционирования на внутреннем и внешнем рынках [1,2]. При этом следует подчеркнуть, что вторая технология обеспечивает значительный экономический эффект за счет снижения расхода кокса и себестоимости чугуна при полном отсутствии дополнительных капитальных вложений, как этого требует внедрение технологии вдувания ПУТ. Однако обе эти технологии требуют, прежде всего, опережающего повышения качества кокса.

По данным 9-ти месяцев 2012 г., высококачественный кокс с показателями: CSR 56,71-60,31 %, CRI 30,59-32,48 %, M₂₅ 90,3-92,1 %, M₁₀ 3,9-4,3 %, отвечающий требованиям технологии вдувания ПУТ, производили в цехе №3 ПАО “Алчевсккокс” на батарее №10-бис., где при использовании качественных угольных концентратов совмещены технологии трамбования шихты и сухого тушения кокса. Этот кокс, а также кокс с батареи №9-бис., где показатели ка-

чества кокса несколько ниже из-за использования мокрого тушения кокса, подавали в доменные печи №1 и 5 Алчевского металлургического комбината, где с середины 2009 г. внедрена технология вдувания ПУТ. На печи №1 объемом 3000 м³ на этом коксе достигли удельного расхода кокса 378,1 кг/т чугуна при расходе ПУТ 167 кг/т, а на доменной печи №5 объемом 1719 м³ удельный расход кокса был 418,8 кг/т при расходе ПУТ 149 кг/т чугуна.

Доменные печи ПАТ “АрселорМиттал Кривой Рог” (АМКР) никогда не имели кокс такого качества. Особенно это касается показателей холодной прочности кокса M₂₅ и M₁₀. В отношении величин реакционной способности (CRI) и, следовательно, послереакционной прочности (CSR) кокса, достижение таких показателей, как у кокса ПАО “Алчевсккокс”, для печей АМКР сегодня не является первоочередной задачей, т.к. на этих доменных печах не применяется технология вдувания ПУТ, а для используемой технологии загрузки в печи через колошник кускового антрацита, прежде всего, важны высокие показатели холодной прочности кокса [3].

В настоящее время необходимость обеспечения низкой реакционной способности кокса CRI неоднозначна. Например, японские металлурги ищут пути не снижения, а повышения CRI кокса даже для печей, использующих технологию вдувания ПУТ [4-7]. Кроме этого, при повышении реакционной способности кокса его расход может дополнительно уменьшаться за счет снижения степени развития прямого восстановления железа, что вполне реально, и это подтвердили японские [4-7] и [8,9] исследования.

Основное количество кокса доменные печи АМКР получали от собственного коксохимического производства (КХП). Показатели качества кокса КХП в 2009-2011 гг. приведены в табл. 1 [10,11].

Надо отметить, что показатели холодной прочности кокса, загружаемого в доменные печи доменных цехов №1 и 2 АМКР, - самые низкие по сравнению с аналогичными показателями качества кокса, используемого на других металлургических комбинатах Украины, и это при том, что кроме кокса КХП на доменной печи №9 объемом 5000 м³ дополнительно использовали кокс и других поставщиков с лучшими показателями по прочности и истираемости.

Таблица 1

Показатели качества кокса КХП АМКР

Год	Показатели, %								
	W, %	As, %	S, %	M ₂₅ , %	M ₁₀ , %	+80, мм	-25, мм	CSR, %	CRI, %
2009	3,9	12,9	0,85	84,4	8,9	10,5	5,8	41,9	41,5
2010	4,4	12,9	0,88	83,4	8,6	7,2	6,8	41,2	41,5
2011	3,8	12,4	0,88	86,6	7,6	10,6	5,1	47,4	42,1

В 2011 г. в связи с изменением сырьевой базы коксования качество кокса на КХП заметно улучшилось в сравнении с 2009 и 2010 гг. (см. табл. 1) и значительно улучшилось качество кокса КХП по итогам 9 месяцев 2012 г.

При этом шихту на КХП в 2012 г. стали составлять таким образом, чтобы обеспечить, прежде всего, рост послереакционной прочности кокса (CSR). В результате доменные печи №7 (2000 м³) и №8 (2700 м³) с января по сентябрь (включительно) 2012 г. получали кокс только КХП с показателями: M₂₅ 85,9-88,0 %, M₁₀ 7,3-7,8 %, CSR 48,0-51,9 % и CRI 33,7-36,7 %. Доменная печь №9 в этот же период получала кокс КХП и привозной кокс “АрселорМиттал Польша”, причем расход последнего непрерывно рос. Так, если в апреле этого года кокса грузили в печь 50,9 %, то в сентябре – уже 84,8 %. В результате на этой печи показатели качества кокса были несколько выше: M₂₅ 87,0-88,2 %, M₁₀ 6,7-7,3 %, CSR 50,4-53,9 % и CRI 33,2-36,5 %.

За последние 12 лет самые низкие показатели по расходу кокса на доменных печах №7 и 9 были зафиксированы в 2006 г. при самых высоких среднемесячных расходах антрацита, а на доменной печи №8, которая простояла на капремонте с 2003 г. по август 2008 г. [12], – в 2009 г. (лучшие месяцы работы этих печей в указанные периоды традиционно используют как базовые). В связи со значительным ростом CSR кокса КХП для печей №7 и 8 в 2012 г. (лучшие месяцы работы этих печей будем считать опытными) проведем сравнительный анализ работы этих печей с базовыми периодами.

В базовом периоде 2006 г. в доменную печь №9 подавали кокс с показателем CSR более высоким, чем в трех кварталах 2012 г., и только в опытном периоде №2 этого года CSR превысило этот показатель качества кокса базового периода. Техничко-экономические показатели ра-

боты доменных печей №7, 8 и 9 на коксе разного качества и при загрузке в печи различного количества антрацита приведены в табл. 2.

Анализ табл. 2 показывает, что при существенном увеличении CSR кокса, загружаемого в печи №7,8 и 9, ни на одной из доменных печей в опытных периодах увеличить рудную нагрузку на кокс не удалось. При этом, несмотря на существенное увеличение температуры дутья, а в некоторых периодах и расхода природного газа получить более низкий расход кокса на печах №7 и 8 в сравнении с базовыми периодами не удалось. Приведенный расход кокса вырос на 22,5-64,6 кг/т чугуна. Исключением является только доменная печь №9, на которой приведенный расход кокса снизился в опытных периодах, соответственно, на 10,7 и 19,9 кг/т при росте фактического расхода кокса на 14,4 и 8,3 кг/т чугуна. Таким образом, можно констатировать, что затраты, понесенные на приобретение дорогих импортных угольных концентратов для увеличения показателя послереакционной прочности кокса CSR, не окупались.

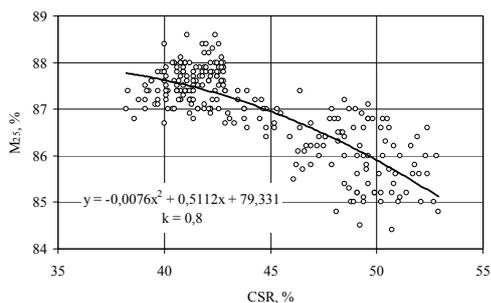


Рис. 1. Зависимость M_{25} от изменения CSR кокса

Если проанализировать показатели холодной прочности кокса по печам, то видно, что M_{25} и M_{10} изменялись незначительно. Более того, каждый раз, когда предпринимались попытки увеличить показатель CSR для кокса КХП, прочность его по M_{25} всегда уменьшалась. Это видно из зависимости между этими показателями кокса КХП по результатам 2011 г. (рис. 1).

Основной причиной роста расхода кокса на печах в рассматриваемые периоды в сравнении с базовыми является снижение норм подачи в печи антрацита, которые к тому же и не выполнялись. Имеет место значительная неритмичность поставки кускового антрацита в доменные цехи. Если бы антрацит был в наличии, то даже при существующих показателях холодной прочности кокса и загрузке в печи антрацита минимум 70 кг/т (технология подачи такого количества антрацита в печи хорошо отработана еще на комбинате “Криворожсталь” [3]), то можно было бы иметь удельный расход кокса на печах №7 и №8 438-455 и 434-446 кг/т, соответственно, а на печи №9 - 379-438 кг/т чугуна. Если бы шихту на КХП составляли с учетом обеспечения показателей холодной прочности кокса M_{25} 90 % и M_{10} 6 % вместо повышения показателя послереакционной прочности CSR до уровня 55-60 %, то расход кокса можно было бы снизить еще дополнительно [13] и получить значительную экономию не только за счет отказа от дорогих импортных углей, но и иметь значительную экономию в доменном производстве, прежде всего, за счет снижения расхода кокса и разницы цен на кокс и антрацит.

Выводы. К важнейшим направлениям повышения эффективности доменного производства относятся технология вдувания пылеугольного топлива в доменные печи и технология использования кускового антрацита на тех доменных печах, где еще не внедрена технология вдувания ПУТ. Обе эти технологии требуют опережающего повышения качества кокса, причем если для технологии ПУТ, прежде всего, необходимо повышать послереакционную прочность кокса CSR в связи со значительным сокращением расхода твердого топлива в доменной плавке, то для технологии загрузки в печи кускового антрацита, прежде всего, необходимо повышать качество кокса за счет улучшения показателей его холодной прочности.

Список литературы

1. Лялюк В.П., Товаровский И.Г., Тараканов А.К. Проблемы реализации вдувания пылеугольного топлива и альтернативных технологий доменной плавки // Черная металлургия: Бюллетень института “Черметинформация”. – 2011. – №11. – С. 20-26.
2. Товаровский И.Г., Большаков В.И., Лялюк В.П. Альтернативные коксоберегающие технологии – перспектива развития доменного производства // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2011. – №2. – С. 10-13.
3. Антрацит и термоантрацит в шихте доменной плавки // В.П. Лялюк, И.Г. Товаровский, Д.А. Демчук и др. – Днепропетровск: Пороги, 2008. – 245 с.
4. Enhancement of blast furnace reaction efficiency through the use of highly reactive coke / S. Nomura, S. Matsuzaki, M. Naito et al. // FISTech 2006. – Proceedings. – P. 31-37.
5. Subjects for achievements of blast furnace operation with low reducing agent rate / Y. Ujisawa, K. Nakano, Y. Matsukura et al. // Tetsu-to-Hagane. 2006. 92. – №12. – P. 323-329.

6. Shimizu M., Naito M. Technological progresses and researches on blast furnace ironmaking in the new century // Tetsu-to-Hagane. – 2006. 92. – №12. – P. 694-702.
7. Naito M. Necessity of high strength and high reactivity for coke // CAMP ISIJ. – 2007.20. – P. 620-623.
8. Лялюк В.П., Тараканов А.К., Кассим Д.А. Влияние реакционной способности кокса на технико-экономические показатели доменной плавки // Кокс и химия. – 2011. – №2. – С. 16-22.
9. Тараканов А.К., Лялюк В.П., Кассим Д.А. Обоснование современных подходов к оценке качества доменного кокса // Сталь. – 2011. – №7. – С. 20-22.
10. Итоги работы предприятий ассоциации “Укркокс” в 2010 году. Украинская научно-промышленная ассоциация “Укркокс”. – Днепропетровск: 2011. – 109 с.
11. Итоги работы предприятий ассоциации “Укркокс” в 2011 году. Украинская научно-промышленная ассоциация “Укркокс”. – Днепропетровск: 2012. – 107 с.
12. Опыт эксплуатации, выдувки, ремонта и пуска после реконструкции доменной печи объемом 2700 м³ / В.А. Шеремет, В.П. Лялюк, А.В. Кекух и др. // Черная металлургия: Бюллетень института “Черметинформация”. – 2010. – №3. – С. 50-59.
13. Выбор направлений развития коксоберегающей технологии доменной плавки / В.П. Лялюк, И.Г. Товаровский, В.А. Шеремет и др. // Черная металлургия: Бюллетень института “Черметинформация”. – 2010. – №1. – С. 37-41.

Рукопись поступила в редакцию 26.02.13

УДК 669.14:66.065.5

В.В. ТКАЧ, канд. техн. наук, доц., О.М. КИЩЕНКО, аспірантка
ДВНЗ «Криворізький національний університет»

ВПЛИВ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ДІЇ В ПРОЦЕСІ КРИСТАЛІЗАЦІЇ НА ФІЗИКО-МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ СТАЛІ 110Г13Л

Розглянуто залежність фізичних та механічних властивостей марганцевої сталі марки 110Г13Л від впливу електричної дії під час кристалізації виливка.

Актуальність проблеми і її зв'язок з науковими і практичними завданнями. При виробництві сталі Гадфильда [1] доводиться вирішувати ряд моментів, що негативно впливають як на технологічні, ливарні, так і експлуатаційні властивості відливаних: *a* - при експлуатації сталі 110Г13Л в умовах високих абразивних і низьких динамічних навантажень, не устигає утворитися зміцнений поверхневий шар, що веде до швидкого виходу деталей з ладу; *b* - високий вміст фосфору, що вноситься в сталь з середньо- і високовуглецевим феромарганцем, і як наслідок - виділення фосфидної евтектики по межах зерен; *v* - виділення карбідів по межах зерна; *z* - високий вміст в металі газів і неметалічних включень при високому закісі марганцю в шлаку; *d*) схильність до росту дендриту при високій температурі заливки.

Актуальним завданням на сьогодні для металургійних підприємств залишається обробка металу, для поліпшення його фізичних властивостей. Одним з перспективних способів дії на структуру і властивості ливарних сплавів є обробка розплаву електричним струмом в процесі кристалізації. Електрична обробка матеріалів представляє самостійне напрями спрямованого регулювання властивостей металів, що інтенсивно розвиваються [2]. Накладення на рідкий метал, що кристалізується, електричного і магнітного полів дозволяє ефективно управляти рухом розплаву, процесами тепломасопереносу, структурою і властивостями відливаних [3].

Відомо, що рух іонів в рідкому сплаві хаотичний. Спрямовану дифузію іонів можна створити, змінивши градієнт концентрації їх в розплаві, що досягається або зміною парціального тиску над металом, спрямованим рухом неметалічних включень при адсорбції їх флюсами, шляхом дії на рідкий метал наприклад, постійного струму.

Постановка завдання. Обробка рідкого розплаву електричним струмом створює умови для спрямованої кристалізації в міжелектродному просторі, що дозволяє управляти процесом кристалізації відливаних. Механізми дії постійного струму заснований на виникненні і розвитку, ефект Пельте, рідкою і твердою фазами, використовуваного при зонному плавленні [4].

Разом з цим, струм, будучи внутрішнім джерелом енергії, додатково прогривають виливок, стабілізуючи температурне поле за часом і в його об'ємі. Тому використання струму в процесі формування відливання зменшує вірогідність виникнення недоливів металу у формі, що особливо важливо при отриманні тонкостінних литих виробів.

Раніше були проведені дослідження по вивченню впливу електродії на кристалізацію мідних і алюмінієвих. З метою поліпшення експлуатаційних властивостей зносостійких сталей,