

УДК 669.162

С.А. Воденніков, зав. кафедри, д.т.н., професор
Д.О. Лаптев, аспірант
В.Г. Аносов, доцент, к.т.н.
О.В. Харченко, доцент, к.т.н.

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ЯКОСТІ КОКСУ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ ПИЛОВУГІЛЬНОГО ПАЛИВА

Запорізька державна інженерна академія

Исследовано влияние качества кокса на изменение его расхода в доменных печах ОАО «Металлургический комбинат «Запорожсталь» за 2010-2012 гг. при использовании пылеугольного топлива. Выполнены расчеты по определению количества кокса, выведенного из доменной плавки в связи с улучшением его физико-химических свойств.

Ключевые слова: доменная печь, чугун, кокс, пылеугольное топливо, качество

Досліджено вплив якості коксу на змінювання його витрати у доменних печах ВАТ «Металургійний комбінат «Запоріжсталь» за 2010-2012 рр. під час використання пиловугільного палива. Виконано розрахунки щодо визначення кількості коксу, що виведено із доменної плавки у зв'язку із покращенням його фізико-хімічних властивостей.

Ключові слова: доменна піч, чавун, кокс, пиловугільне паливо, якість

The influence of quality of coke on the change of its expense in the blast furnaces of OAJ «Metallurgical combine «Zaporozhstal» for 2010-2012 at the use of coal-fired fuel is investigated. Calculations on determining the quantity of coke, derived from the blast furnace melting due to the improvement of its physical and chemical properties are executed.

Keywords: blast furnace, cast-iron, coke, coal-fired fuel, quality

Вступ. Висока якість коксу є ключовим чинником для стабілізації теплової роботи доменної печі. Це є особливо важливим за високим рівнем вдування пиловугільного палива (більше 100 кг/т чавуну) до печі для зниження витрати коксу та збільшення продуктивності процесу.

На максимально можливу витрату пиловугільного палива (ПВП) [1-3] у доменній печі впливають такі показники якості коксу як вміст золи (A), сірки (S), вологи (W), летючих компонентів (V), лугів, розсівання коксу за розміром часток, його механічна міцність (M_{25} , M_{10}), втрата маси коксу (CRI) та його гаряча міцність після реакції Будуара (CSR) та інші. Показники CRI та CSR значно впливають на ефективність вдування ПВП, тому що його реалізація спричинює змінювання механізму руйнування коксу в нижній зоні робочого обсягу доменної печі [4]. Зростання кількості ПВП, якого вдувають, збільшує час перебування коксу в печі. Рівень взаємодії вуглецю коксу із двооксидом вуглецю за реакцією Будуара зростає. Зазначена реакція сприяє руйнуванню коксу й утворенню дріб'язку в нижніх шарах шихти, що гальмує вихід потоку відновного газу з фурменної зони печі.

Слід відзначити, що якість коксу добре пов'язана з витратою пиловугільного палива, якого вдувають, через кількість згорілих фурм, осаджень печі, її простоїв і ро-

боти за «тихим ходом».

Виробничий досвід світових металургійних компаній [5-8] визначив такі необхідні вимоги до якості коксу під час вдування 100...150 кг ПВП на одну тонну чавуну: $A < 8,5 \%$; $S < 0,75 \%$; $W < 5,0 \%$; $V < 1,0 \%$; луга $< 0,22 \%$; фракція +25 мм – 94...96 %; фракція -12,5 мм – 0...2,0 %; $CRI \leq 28 \%$; $CSR \geq 62 \%$.

Аналіз досягнень. З листопада 2010 р. на ВАТ «Металургійний комбінат» Запоріжсталь» розпочали дослідно-промислові плавки, пов'язані із заміною коштовного природного газу на більш дешеве пиловугільне паливо. Освоєння ПВП-технології на доменній печі № 2 комбінату із вдуванням 90...130 кг ПВП на одну тонну чавуну замість 100 м³ природного газу характеризувалося зниженням витрати коксу з 538 до 424 кг/т чавуну, тобто сумарна його економія складала 114 кг/т чавуну, що більше ніж удвічі перевищує ефективність технологічного режиму із вдуванням до горна доменної печі природного газу. Коефіцієнт заміни коксу при цьому зростає з 0,8 кг/м³ природного газу до 1,03 кг/кг пиловугільного палива. Це стало можливим також завдяки покращенню якості шихтових матеріалів, зокрема коксу, яке здійснювали перед виконанням дослідно-промислових плавок із застосуванням пиловугільного палива. Кокс поліпшеної якості мав такі характеристики: $A < 12 \%$, $V - 0,8 \%$, $W - 5 \%$, $CRI < 39,5 \%$, $CSR > 48,0 \%$.

Постановка завдання. Дослідити вплив якості коксу на скорочення його витрати у доменних печах ВАТ «Металургійний комбінат «Запоріжсталь» під час використання ПВП, а також визначити кількість коксу, яку буде виведено із доменної плавки тільки у зв'язку з покращенням якості зазначеного відновника.

Основна частина дослідження. У листопаді 2010 р. напередодні початку дослідно-промислового періоду вдування ПВП [9] на доменній печі № 2 комбінату випробували дослідну партію Ясинівського коксу марки «Преміум», що містить менше домішок, більше вуглецю, а також має покращенні фізико-хімічні властивості.

Під час досліджень було одержано економію коксу до 4 %, а також зростання продуктивності процесу до 13 %. Кількість згорілих фурм скоротилася майже у три рази, виплавляння чавуну другого сорту зменшилося з 4,0 до 1,8 %. Позитивний досвід використання коксу марки «Преміум» дозволив прийняти кардинальні заходи щодо поліпшення якості коксу ПАТ «Запоріжжкокс».

З грудня 2010 р. на ПАТ «Запоріжжкокс» почали здійснювати заходи з підвищення якості коксу за рахунок покращення складу вугільної шихти й оптимізації режимів коксування.

У табл. 1 наведено технічний склад і фізико-хімічні властивості коксу базового (Б) періоду (2010 р.) та двох дослідних (Д) періодів (2011 р., перший квартал 2012 р.), коли доменні печі працювали на коксі поліпшеної якості.

Таблиця 1 – Технічний склад і фізико-хімічні властивості доменного коксу ПАТ «Запоріжжкокс», %

Період, рік, квартал	S	A	W	V	M25	M10	+80 мм	-25 мм	CSR	CRI
2010 р. (Б)	1,36	11,7	4,5	0,90	86,7	7,7	7,1	3,8	23,2	52,3
2011 р. (Д)	0,93	11,4	4,7	0,82	87,7	7,4	7,3	3,5	47,9	39,5
2012, 1 кв. (Д)	0,77	11,4	4,5	0,49	89,2	7,0	6,2	3,6	48,4	38,3

З табл. 1 видно суттєве покращення технічного складу та фізико-хімічних властивостей коксу для дослідних (Д) періодів порівняно із базовим періодом (Б).

Таблиця 2 – Баланс факторів щодо коксу та роботи доменних печей під час використання коксу поліпшеної якості

Показники	Один. вимір.	Фактори		Змінювання		
		базовий 2010 р.	дослідн. 2011 р.	фактору	коксу, кг/т·год.	виробництво, т/доба
Виробництво	т/доб.	7719	8217			+498
Витрата коксу	кг/т·год.	492	447		-45	
Вміст заліза у ЗРЧ	%	54,54	54,72	+0,18		
Вихід шлаку	кг/т·год.	467	466	-1,0	-0,22	+1,24
Витрата вапняку	кг/т·год.	18	17	-1,0	-0,30	+1,30
Витрата дуття	м ³ /т·год.	2649	2853	+168		
Витрата ПГ	м ³ /т·год.	101	38	-63	+44,1	
Витрата кисню	м ³ /т·год.	54	46	-8		
Вміст кисню у дутті	%	23,3	23,3	0		
Волога дуття	г/м ³	9,5	9,5	0		
Виконання випусків	%	96,9	98,6	+1,7	-0,43	+4,26
Перепад тиску газу	кПа	125	120	-5,0		
Температура дуття	°С	1141	1136	-5	+0,72	
Поточні простої	%	1,86	1,37	-0,49	-1,29	+18,4
Тихий хід	%	0,93	0,46	-0,47	-1,12	+11,8
Вміст Si у чавуні	%	0,81	0,76	-0,05	-3,06	+15,1
Інтенсивн. щодо дуття	%	0	+6,34	+6,34	+9,71	
Витрата заліза руди	кг/т·год.	63,6	36,0	-17,6		
Витрата ЗРЧ	кг/т·год.	1824	1782	-42,0		
Доля руди у ЗРЧ	%	2,94	2,02	-0,92	-2,55	
Витрата окатишів	кг/т·год.	23,75	5,0	-18,75		
Дріб'язок в агломераті	%	14,4	14,5	-0,1		
Доля дріб'язку в ЗРЧ	%	13,8	13,8	0		
Інтенсивність ходу	кг/м ³ ·с	837	827	-10		
Відсівання коксу (сух)	кг/т·год	41	33	-8		
Витрата ПВП (сух)	кг/т·год	3,40	86,0	+82,6	-74,3	
Разом за факторами	кг/т·год				-29,14	52,1
Якість коксу всього,	кг/т·год				-15,86	445,9
у тому числі:		12,8	11,4	-1,4		
Зола	%					
Сірка	%	1,37	0,91	-0,46		
Летючі	%	0,90	0,80	-0,10		
М25	%	86,5	87,8	+1,3		
М10	%	9,4	7,4	-2,0		
+80 мм	%	2,8	7,3	+4,5		
-25 мм	%	2,0	3,5	+1,5		
CRI	%	52,3	39,5	-12,8		
CSR	%	23,2	47,9	+24,7		
За рахунок якості коксу	%				-3,55	5,78

Особливу увагу звертає на себе вагоме збільшення показника гарячої міцності (на 24,7 %) та (25,2 %) відповідно, тобто більше, ніж у два рази, а також зменшення реакційної здатності коксу на 12,8 і 14,0 %. Проте значення зазначених показників залишалися суттєво нижчими ніж визнані необхідними світові величини: $CSR > 58 \%$, $CRI < 22 \%$.

Для визначення ефективності використання коксу поліпшеної якості було розглянуто два періоди роботи доменного цеху:

- базовий (2010 р.), коли печі працювали на звичайному коксі;
- дослідний (2011 р.), коли печі працювали на коксі поліпшеної якості.

Головним завданням було визначення впливу змінювання технологічних чинників на головні економічні показники роботи печей – витрату коксу, інтенсивність ходу та продуктивність. Обчислено реальні змінювання зазначених параметрів, визначено суму змінювань цих параметрів під час змінювання технологічних величин і за різницею визначено вплив шуканого фактора, яким є якість коксу.

Результати порівняльного балансу факторів щодо коксу та роботи доменних печей наведено у табл. 2.

З табл. 2 видно, що для дослідного періоду витрата коксу зменшилася на 45,0 кг/т чавуну, а середньодобове виробництво чавуну збільшилося на 498 т/добу.

Позитивний вплив на змінювання витрати коксу та продуктивності доменних печей відбувалося за рахунок збільшення вмісту заліза у шихті, що відобразилося у зниженні виходу шлаку, витрати флюсу та частки сирої руди, підвищенні виконання графіка випусків продуктів плавки, зменшення простоїв печей та їх «тихих ходів», завдяки більш рівному їх ходу, про що свідчать менші значення загального перепаду тиску газів за висотою доменних печей.

Максимальне зменшення витрати коксу, що одержано за рахунок вдування ПВП, становить 74,3 кг/т чавуну.

Негативний вплив на витрату коксу здійснювало зниження витрат природного газу на 63,0 м³/т чавуну, зниження інтенсивності плавки щодо дуття та частки в ньому кисню під час незначного зменшення температури дуття, та, як сказано вище, збільшення теоретичної температури горіння та у зв'язку з цим збільшення ступеня прямого відновлення.

Як результат, за рахунок змінювання зазначених вище технологічних параметрів витрата коксу знизилася на 29,14 кг/т чавуну, а продуктивність печей зростала на 52,07 т/доба. Якщо відняти зазначені змінювання з реально одержаних, то економія коксу за рахунок підвищення його якості складе $45,0 - 29,14 = 15,86$ кг/т чавуну (3,55 %), а зростання продуктивності процесу: $498,0 - 52,07 = 445,93$ т/доба (5,78 %).

Дійсно, як наголошувалося у табл. 2, всі показники технічного складу та властивостей коксу суттєво покращилися, що і дозволило одержати такі високі результати з економії коксу та зростання продуктивності процесу.

Висновки. Використання у доменній шихті коксу ПАТ «Запоріжжкокс» поліпшеної якості дозволило:

- збільшити витрату дуття на 168 м³/хвилини;
- одержати більш високу економію коксу за рахунок заміни природного газу на ПВП;
- виключити розлади ходу доменних печей за рахунок поліпшення газодинаміки процесу: горіння фурм скоротилося більше ніж у три рази;
- зменшити виплавляння чавуну другого сорту (з 4,0 до 1,8 %);

– підвищити виконання графіка випусків чавуну та знизити простої і тихий хід печей;

– одержати економію коксу 15,86 кг/т чавуну (3,55 %) за рахунок підвищення його якості та підвищити продуктивність процесу на 445,93 т/добу (5,78 %).

Очевидно, що поліпшення якості вітчизняного коксу є найважливішим і необхідним компенсуючим заходом під час роботі доменних печей із застосуванням ПВП.

ПЕРЕЛІК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Воденников, С. А.* Анализ эффективности доменной плавки с заменой кокса пылеугольным топливом [Текст] / С. А. Воденников, В. Г. Аносов, Д. А. Лаптев // *Металургія : наукові праці Запорізької державної інженерної академії.* – Запоріжжя : РВВ ЗДІА, 2012. – Вип. (3) 28. – С. 20-24.
2. Повышение горячей прочности кокса (CSR) за счет изменения состава угольной шихты КХП ОАО «МК «Азовсталь» [Текст] / *Р. В. Ковальчик, А. А. Томаш, В. П. Тарасов и др.* // Труды междунар. научн.-техн. конф. «Пылеугольное топливо – альтернатива природному газу при выплавке чугуна». – Донецк : УНИТЕХ, 2006. – С. 117-126.
3. *Лялюк, В. П.* Коксозамещающие технологии в доменной плавке [Текст] / В. П. Лялюк, И. Г. Товаровский. – Днепропетровск : Пороги, 2006. – 276 с. – Библиогр. : С. 267-274. – ISBN 966-525-749-8.
4. Пылеугольное топливо – альтернатива природному газу при выплавке чугуна [Текст] : Труды междунар. научн.-техн. конф. – Донецк : УНИТЕХ, 2006. – 398 с.
5. *Zhang, S.* Theoretical consideration of problems relating to high coal rate injection into blast furnaces [Text] / S. Zhang, X. Bi // *Ironmaking and Steelmaking.* – 2003. – Vol. 30, No 6. – P. 467-474.
6. Investigation of combustion behavior of a PCI coal and unburnt char carryover in a US Steel blast furnace [Text] / *V. Sahajwalla, C. Kong, I. Lu etc.* // 60 Ironmaking Conference Proceeding. – Baltimore (USA). – 2001. – P. 451-458.
7. Coke, char and organic waste behaviour in the blast furnace with high injection rate [Text] / *H. W. Gudenau, D. Senk, K. Fukada etc.* // *Revista de Metalurgia.* –2003. – No 39. – P. 367-377.
8. *Langer, K.* Injection of pulverized coal at Thyssen Krupp Steel [Text] / K. Langer // *Stahl and eisen.* – 2005. – No 11. – P. 591-594.
9. О технологии доменной плавки при использовании пылеугольного топлива [Текст] / *В. Г. Аносов, А. П. Фоменко, Н. В. Крутас, Т. С. Цапина* // *Металургія : наукові праці Запорізької державної інженерної академії.* – Запоріжжя : РВВ ЗДІА, 2008. – Вип. 20. – С. 37-43.

Стаття надійшла до редакції 20.05.2014 р.

Рецензент, проф. В.М. Ковшов

Текст даної статті знаходиться на сайті ЗДІА в розділі Наука
<http://www.zgia.zp.ua>