

РОЗРОБКА МЕТОДІВ МОДИФІКАЦІЇ ВЛАСТИВОСТЕЙ ВУГІЛЬНОЇ ШИХТИ ТА СТВОРЕННЯ ОПТИМАЛЬНИХ УМОВ ЕКСПЛУАТАЦІЇ КОКСОВИХ ПЕЧЕЙ ДЛЯ ОТРИМАННЯ ВИСОКОЯКІСНОГО КОКСУ*О.І. Зеленський¹, О.В. Ситник²*Государственное предприятие «Украинский государственный научно-исследовательский углехимический институт (УХИИ)» 61023, г. Харьков, ул. Веснина, 7. Украина*¹ Зеленський Олег Іванович, канд. техн. наук, зам. зав. коксовим відділом, e-mail: zelensky_ukhin@mail.ru² Ситник Олексій Володимирович, канд. техн. наук, старший науковий співробітник, e-mail: ko@ukhin.org.ua

У статті наведені результати дослідження напрямків отримання високоякісного коксу шляхом покращення показників, що характеризують його властивості та структурні характеристики: формування раціональної сировинної бази коксування та раціональна технологія коксування. Поставлена мета досягається завдяки модифікації властивостей вугільної шихти та створення оптимальних умов експлуатації коксових печей.

Ключові слова: кам'яновугільна шихта, завантаження, наспання, трамбування, коксування, тиск розпирання, уніфікований метод визначення, об'ємномодифікуючі присадки, якість коксу.

* Робота нагороджена щорічною премією Президента України для молодих вчених 2015 року (Указ Президента України № 705/2015 від 16 грудня 2015 року).

В технологічному ланцюгу виробництва сталі доменний кокс продовжує залишатися невід'ємною частиною процесу виробництва металу. Це найдорожчий компонент доменної шихти. Протягом кількох десятиліть для його часткової заміни використовували, головним чином, природний газ. Але в останнє десятиліття природний газ в Україні став занадто дорогим енергоносієм і його використання в доменному процесі наразі є економічно неефективним.

У розвинених країнах вже досягнуто зниження витрати коксу в доменних печах до 360 кг/т чавуну за рахунок вдування пиловугільного палива [1].

Для реалізації сучасної технології доменної плавки в Україні з вдуванням пиловугільного палива необхідно забезпечити збереження газопроникності стовпа шихтових матеріалів і дренажну здатність горна. Для цього потрібна висока якість коксу, який виконує у доменній печі ряд найважливіших функцій: паливо, відновник і розпушувач. При цьому в якості розпушувача кокс нічим замінити, це єдиний компонент доменної шихти, який залишається твердим у нижній частині доменної печі.

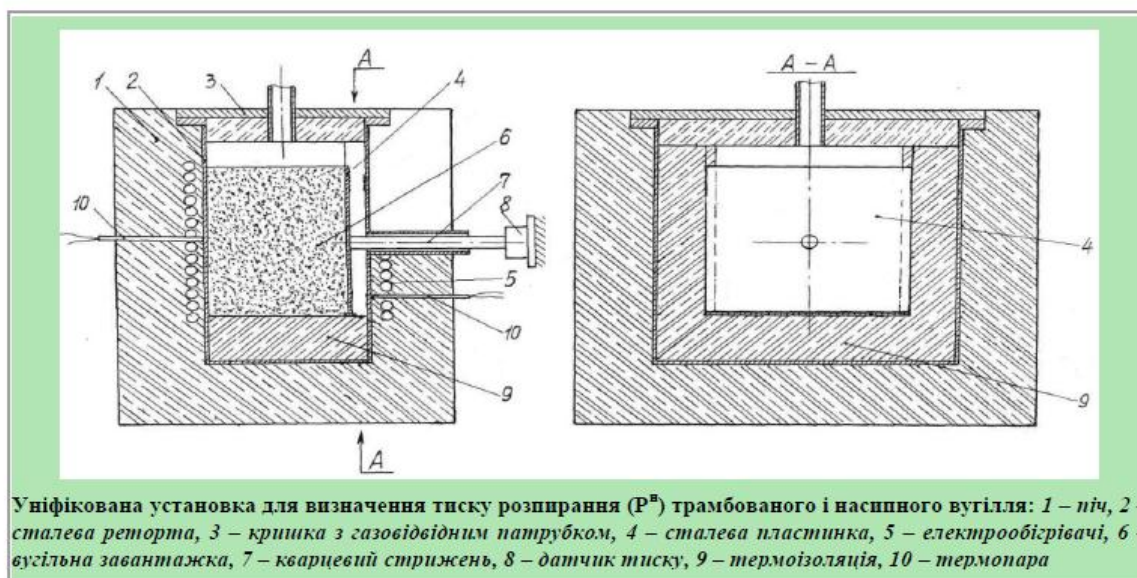
Зміна у доменній частині коксу на пиловугільне паливо ставить нові вимоги щодо його якості [2]. На цей час до основних показників якості коксу відносять: вологість, сірчистість, зольність, механічну міцність, а також індекс реакційної здатності (CRI – Coke Reactivity Index) і міцність залишку коксу після реакції з CO_2 (CSR – Coke Strength after Reaction). Вимоги провідних металургійних заводів світу щодо якості доменного коксу за цими показниками дуже високі (CRI $\leq 30\%$; CSR $\geq 60\%$).

Для того, щоб досягти необхідних показників якості доменного коксу, коксохімічні заводи повинні використовувати високоякісне коксівне вугілля з певним петрографічним та мінеральним складом і дуже низьким вмістом сірки. Тому вугільна сировинна база України дозволяє отримувати доменний кокс з показниками CRI $\leq 35\%$ і CSR $\geq 50\%$ в обсязі всього лише 3,5-4,0 млн. тонн на рік. Решта коксівного вугілля, яке видобувається в Україні, має великий вміст сірки і в середньому дозволяє отримувати кокс з показниками CRI і CSR у межах 40%. Для отримання доменного коксу з необхідними якісними показниками при наявній вугільній базі придатні різні способи і прийоми, які дозволяють поліпшити ті або інші параметри якості основного продукту. До таких способів відносяться цілеспрямоване регулювання якості коксу шляхом введення у вугільні шихти неспікливих добавок: коксовий пил і дрібняк антрациту, напівкоксу, а також неорганічних добавок (дрібнодисперсні оксиди титану, кремнію, заліза і алюмінію) [3].

Для отримання високоякісного коксу і забезпечення прибутковості роботи коксохімічних підприємств вугільна шихта має містити не менше 50% коксового вугілля. Але це вугілля, як і пісчувато-спікливе, що також є невід'ємним компонентом шихти, розвиває при коксуванні великий тиск розпирання (10-20 кПа). В той же час оплавальні простінки коксових печей можуть протягом тривалого часу витримувати навантаження не більше 7-8 кПа, на яке вони розраховані [4, 5]. Тому при складанні шихт необхідно уникати розвинення при коксуванні надмірного тиску розпирання, величина якого не є адитивною. Це особливо важливо у нинішній час, для якого характерні непередбачувані зупинки видобутку та значні складнощі в транспортуванні вугілля. В свою чергу, це призводить до частих та суттєвих змін у складах та властивостях шихт для коксування.

Мета репрезентованої роботи полягала у створенні оперативного уніфікованого методу визначення величини тиску розпирання різних вугільних концентратів та їх сумішей при насипному і трамбованому завантаженні, розробці методики розрахунку тиску розпирання багатокомпонентних вугільних шихт для забезпечення його оптимальних значень під час коксування та у розробці способу отримання високоякісного доменного коксу за допомогою об'ємно-модифікуючих присадок.

Розроблений уніфікований метод визначення тиску розпирання (див. рис.) дозволяє оперативно визначити тиск розпирання насипних і трамбованих вугільних шихт на одній установці. При цьому рівень отриманих значень тиску розпирання такий же, як у промисловій коксовій печі. Виконані дослідження тиску розпирання бінарних сумішей вугілля дозволяють оперативно розраховувати цей показник для промислових шихт при змінах їх складу, у т.ч. при введенні в шихту нового, не використовованого раніше, вугілля [6]. Отримані залежності тиску розпирання від насипної щільності вугільного завантаження, її вологості та помелу, а також добавок коксового дрібняку дозволяють прогнозувати тиск розпирання шихти при зміні зазначених технологічних факторів [7].



При вимірюванні тиску розширення насипного вугільного завантаження $P^{\#}$ беруть наважку 0,8 кг з вологою 9-10 %, та засипають у простір, який обмежений з одного боку бічною стінкою 2, а з іншого – тонкою (2 мм) сталевую пластинкою 4. Потрібна насипна щільність завантаження досягається з розрахунку маси та корисного об'єму реторти.

При випробуванні трамбованого вугільного завантаження необхідну масу шихти (вугілля) 1 кг, трамбують у механічному трамбувачі (на рисунку не показаний) при певній питомій роботі трамбування, що відповідає промисловій трамбувальній машині, яка обслуговує коксову батарею (~ 450 кДж/кг).

В табл. 1 надані зведені результати досліджень тиску розширення вугілля різних марок [7].

Таблиця 1

Характеристика якості та тиск розширення вугільних концентратів різних марок

Марка по ДСТУ 3472-96	Середній довільний показник відбиття вітриніту, R_o , %	Вихід летких речовин, V^{daf} , %	Товщина пластичного шару, y , мм	Тиск розширення, кПа	
				насіпом $P^{\#}$	при трамбуванні P^{10}
Г	$\frac{0,54-0,88}{0,71}$	$\frac{35,0-44,0}{39,5}$	$\frac{10-17}{13}$	1,5-3,5	0,5-2,8
Ж	$\frac{0,85-1,10}{0,98}$	$\frac{27,5-36,0}{31,75}$	$\frac{17-30}{23}$	4,0-8,0	4,0-6,5
К	$\frac{1,21-1,58}{1,56}$	$\frac{20,0-27,0}{23,5}$	$\frac{15-23}{19}$	7,0-17,0	9,0-21,5
ПС	$\frac{1,53-1,58}{1,56}$	$\frac{16,8-18,7}{17,7}$	$\frac{6-12}{9}$	4,5-15,0	5,5-20,0

Примітка. Числівник – досліджені інтервали, знаменник – середні значення.

Величина тиску розпирання обумовлюється комплексом генетичних (відбивна здатність вітриніту, вміст вітриніту та інертиніту) і технологічних (вихід летких речовин, товщина пластичного шару) властивостей вугілля. При цьому парний кореляційний зв'язок тиску розпирання з окремими характеристиками властивостей вугілля відсутній.

Проведено вивчення впливу коксового дрібняку на тиск розпирання. Показано, що ця добавка є досить ефективним засобом зниження тиску розпирання як насипних, так і трамбованих шихт. Добавка коксового дрібняку (< 3,0 мм) в насипну шихту в кількості до 3,0 % дозволяє знизити тиск розпирання на 12-15 %. На таку ж величину знижується тиск розпирання і трамбованих шихт. При доданні тонко подрібненого (< 0,25 мм) коксового дрібняку в трамбовану шихту в кількості до 7,0 % тиск розпирання знижується на 45-46 %. Аналогічні результати досягаються при додаванні в шихту коксового пилу, який має близький гранулометричний склад (100 % < 0,25 мм). Перевагою цього рішення у порівнянні зі збільшенням вмісту в шихті газового вугілля є значно менша кількість добавки, що додає можливість практично зберегти спікливі властивості шихти, а також дещо збільшити вихід цільового продукту (коксу).

Гідравлічний опір засипу руху крізь нього парогазових продуктів, який спричиняє виникнення тиску розпирання, зумовлений в'язкістю пластичної маси, яка не є адитивною величиною. До того ж на величину тиску розпирання впливають неоднакові температури максимальної пластичності та твердіння різних компонентів суміші. Тому треба було розробити методику надійного прогнозу рівня тиску розпору багатоконпонентних шихт. При цьому всю шихту розглядали як двокомпонентну суміш добре- та слабоспікливого вугілля, а кожен з цих компонентів – як суміш двох відповідних марок. В межах кожної марки в'язкість пластичної маси та характерні температури пластичної маси близькі для різних зразків вугілля, тому в цьому випадку їх можна розглядати як адитивні. Таким чином, вугільну шихту в межах розробленого методу розглядали як чотирьохкомпонентну суміш, складену з двох двокомпонентних. Експериментальне дослідження різних типів двокомпонентних вугільних сумішей дозволило визначити характерні діаграми склад-властивість (тиск розпирання), що й використовували для прогнозу тиску розпору вугільних шихт [8-10].

За другим напрямком (раціональна технологія коксування) шляхом спрямованого впливу на фізико-хімічні процеси термічної деструкції компонентів вугільної шихти для отримання коксу з якнайбільшою часткою ділянок анізотропної структури авторами роботи були проведені дослідно-промислові коксування на коксохімічних підприємствах: ПАТ «Авдіївський коксохімічний завод», ПАТ «Алчевськкокс» та ПрАТ «Макіївкокс».

В якості присадок до вугільної шихти для поліпшення якості коксу використовували кристалічні (α -модифікація) порошки оксиду алюмінію (корунд) і карбідів кремнію з різним рівнем подрібнення (30-100 мкм). Присадки вносили в шихту

в кількості 0,25-0,50 % (по масі) шляхом механічного перемішування присадки.

Отримані таким чином кокси досліджувалися на реакційну здатність (CRI) і мішність коксу після реакції з CO_2 (CSR) за ДСТУ 4703:2006 (ISO 18894:2006, MOD). Результати досліджень наведені в табл. 2.

Таким чином, проведені дослідження показали, що оптимальна кількість добавки мікропорошків карбідів кремнію та корунду у вугільну шихту становить 0,5 % за масою [11, 12]. При такому рівні добавки спостерігається найбільше зниження показника CRI та підвищення показника CSR.

Таблиця 2

Показники CRI/CSR дослідних коксів

№ з/п	Вміст мікропорошку, %	Δ CRI, %	Δ CSR, %
1	0	0	0
2	0,25	-5,5	+8,2
3	0,5	-6,9	+11,3
4	1	-2,6	-1,5

Зерна мікропорошку карбиду кремнію, які рівномірно розподілені по всьому об'єму вугільної шихти, виступають в якості «зародків» кристалізації в рідкорухливій масі (при 400-500 °С) на стадії твердіння пластичної маси, тобто ініціюють утворення в коксі додаткових анізотропних (високовпорядкованих) ділянок, що відрізняються низькою реакційною здатністю. Додавання мікропорошку у кількості 1 % починає призводити до погіршення показників CRI/CSR, а також відчутно збільшує його зольність.

Внесення присадок в шихту можна здійснювати за допомогою живильника (по типу шнекового або ін.), що подає дозовану кількість присадки (0,25-0,50 %) на стрічковий конвеєр з вугільною шихтою. Живильник має бути встановлений на ділянці перед дробаркою остаточного дроблення шихти (< 3 мм). У такому випадку ця дробарка буде одночасно виконувати роль змішувача, тому що однією з умов отримання високоякісного коксу за допомогою присадок є їх рівномірний розподіл у всьому обсязі вугільної шихти.

Слід зазначити, що найефективнішою є модифікація шихти, склад та властивості якої без модифікації дозволяють отримувати кокс з показниками $\text{CRI} \leq 40$ %, $\text{CSR} \geq 40$ %. В цьому випадку модифікація дає можливість отримувати кокс, що практично повністю відповідає вимогам сучасного доменного виробництва, в т.ч. використанням пилувугільного палива.

Висновки

Розроблено лабораторну уніфіковану установку, що дозволяє визначати тиск розпирання вугілля і шихт в широкому діапазоні насипних щільностей – аж до щільності промислового трамбованого пирога. Абсолютні величини тиску розпирання, які одержані при масі вугільного завантаження 0,8-1,0 кг, відповідають тискам в промисловій камері. Експеримента-

льне дослідження різних типів двокомпонентних вугільних сумішей дозволило визначити характерні діаграми склад-властивість (тиск розпирання), що придатні для прогнозу тиску розпору вугільних шихт

Встановлено, що введення об'ємно-модифікуючих добавок (мікропорошки $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ та $\alpha\text{-SiC}$) в певних концентраціях (у більшості випадків до 0,5 %) дозволяє впливати на процеси, що протікають на стадії пластичного стану для поліпшення міцностних властивостей коксу. Вплив певного типу присадки на якість коксу істотно залежить від марочного складу шихти. Зерна мікропорошків, рівномірно розподілені по всьому об'єму вугільної шихти, виступають в якості «зародків» кристалізації в рідкорухомій вугільній масі (при 400-500 °С) на стадії переходу з пластичного стану до твердого, тобто ініціюють утворення в коксі додаткових анізотропних (високо впорядкованих) ділянок, що відрізняються низькою реакційною здатністю.

Бібліографічний список

1. Ноздрачев В.А. Перспективные технологии доменной плавки с применением кислорода и пылеугольного топлива / В.А. Ноздрачев, С.Л. Яроцкий, В.П. Терещенко. – Донецк: Новый мир, 1996. – 173 с.
2. Золотухин Ю.А. Требования к качеству кокса для доменных печей, работающих с различным удельным расходом пылеугольного топлива / Ю.А. Золотухин, Н.С. Андрейчиков, Я.Б. Кукорев // Кокс и химия. – 2009. – № 3. – С. 25-31.
3. Зеленский О.И. Современные направления использования неспекающих добавок в производстве кокса / О.И. Зеленский // УглеХимический журнал. – 2013. – № 3. – С. 21-28.
4. Кузниченко В.М. Процесс развития максимального давления растривания при коксовании углей. Сообщение первое. Рентгенографические исследования / В.М. Кузниченко, А.В.

Сытник // УглеХимический журнал. – 2009. – № 5-6. – С. 35-41.

5. Кузниченко В.М. Процесс развития максимального давления растривания при коксовании углей. Сообщение второе. Пластометрические исследования / В.М. Кузниченко, А.В. Сытник // УглеХимический журнал. – 2010. – № 1-2. – С. 32-39.

6. Кузниченко В.М. Лабораторный способ определения давления растривания коксующей угольной загрузки различной насыщенной плотности / В.М. Кузниченко, И.В. Шульга, А.В. Сытник // УглеХимический журнал. – 2007. – № 3-4. – С. 29-33.

7. Сытник А.В. Давление растривания углей различных генетических и технологических свойств / А.В. Сытник, В.М. Кузниченко, Д.В. Мирошниченко // Кокс и химия. – 2011. – № 1. – С. 2-5.

8. Сытник А.В. Давление растривания при коксовании бинарных смесей углей насыщенным методом / А.В. Сытник, В.М. Кузниченко, И.В. Шульга // УглеХимический журнал. – 2011. – № 1-2. – С. 41-48.

9. Сытник А.В. Давление растривания трамбованных бинарных угольных смесей / А.В. Сытник, В.М. Кузниченко, И.В. Шульга // УглеХимический журнал. – 2011. – № 5-6. – С. 42-49.

10. Сытник А.В. Влияние технологических факторов на давление растривания насыщенной и трамбованной угольной загрузки / А.В. Сытник, В.М. Кузниченко, И.В. Шульга // Кокс и химия. – 2012. – № 2. – С. 15-21.

11. Зеленский О.И. Корундовые микропорошки — неспекающиеся присадки в угольные шихты / О.И. Зеленский // Сборник научных праць ВАТ «УкрНДДВогнетривів ім. А.С. Бережного». – 2012. – № 112. – С. 278-281.

12. Зеленський О.І. Поліпшення якості доменного коксу за допомогою мікропорошків карбідів кремнію / О.І. Зеленський // Вісник НТУ «ХП». – 2012. – № 48 (954). – (Серія: Хімія, хімічна технологія та екологія). – С. 62-66.

Рукопис надійшов до редакції 20.11.2015

THE DEVELOPMENT OF METHODS FOR MODIFICATION OF COAL BLEND PROPERTIES AND FOR OPTIMIZATION OF COKE OVENS OPERATING CONDITIONS FOR OBTAINING OF HIGH QUALITY COKE

© Zelensky O.I., PhD in technical sciences, Sytnik A.V., PhD in technical sciences (SE «UKHIN»)

In the article the basic directions are given of an obtaining of a high quality coke by improving of the indicators, which characterizing its properties, and of structural characteristics: the formation of rational resource base and rational coking technology. This aim is achieved through the modification of the coal blends properties and the creating of optimal coke ovens operation conditions.

Keywords: coal blend, coal charge, sands, tamping, coking, core oven wall pressure open, standardized method for determining, volume modifying additives, quality coke.