

УДК 669.002.2:669.162.16

**УКРАЇНСЬКЕ ВУГІЛЛЯ ЯК ОСНОВА ДЛЯ  
РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧОЇ ТЕХНОЛОГІЇ  
МЕТАЛУРГІЙНОГО ВИРОБНИЦТВА**

© 2011 Ярошевський С.Л., д.т.н.  
(ДонНТУ),  
Філатов Ю.В., к.т.н.,  
Ємченко А.В., к.т.н.  
(ПрАТ «Донецьксталь» – МЗ»),  
Старовойт А.Г., д.т.н. (НМетАУ),  
Шульга І.В., к.т.н. (УХИ),  
Кузнєцов О.М., к.т.н. (ПАТ «ЄМЗ»),  
Гусак В.Г. (ТОВ «Метінвест»),  
Кауфман С.І. (ПАТ «АКХЗ»),  
Коломійченко О.І. (ПрАТ «Макіївкокс»)

*Розроблена та впроваджена на провідних коксохімічних і металургійних підприємствах України ресурсозберігаюча технологія отримання коксу поліпшеної якості та використання його в доменних печах, в тому числі одночасно з пилувугільним паливом та без застосування природного газу.*

*The resource-saving technology for improved quality and coke use in blast furnaces, including the applying of pulverized fuel and without the use of natural gas, is designed and implemented at coke and metallurgical leading enterprises of Ukraine .*

Ключевые слова: доменний кокс, металургійне виробництво, енергозбереження, імпортозаміщення, природний газ, вугілля, пилувугільне паливо, чавун.

.....  
**М**еталургійне виробництво наразі та в перспективі залишиться однією з найголовніших базових та бюджетоутворюючих галузей промисловості України [1]. Техніко-економічний аналіз свідчить, що головною складовою собівартості металургійної продукції є витрати за першим переділом – в доменному виробництві [2]. При цьому найдорожчим компонентом доменної шихти є кам'яновугільний кокс. Через це головним напрямком поліпшення ефективності металургійної технології в промислово розвинутих країнах світу є зменшення витрати коксу шляхом заміни значної частини його іншими видами палива з одночасним суттєвим підвищенням якості коксу. Головним заміником коксу в Україні, на відміну від провідних країн (США, Японії, Китаю, Західної Європи, де використовують в основному пилувугільне паливо), донедавна був природний газ (до 100 м<sup>3</sup>/т чавуну). І доки ціна газу не перевищувала рівень 200-250 доларів США за 1000 м<sup>3</sup>, економічно його застосування було виправданим. А зараз це суттєво погіршує економіку виробництва та створює залежність металургійної промисловості від імпортних поставок.

В той же час в Україні з 1980 р. є досвід успішної експлуатації першої в Європі установки з використання пилувугільного палива в доменних печах Донецького металургійного заводу, який зараз входить до складу ПрАТ «Донецьксталь» – металургійний завод» [3]. Крім того, для

виробництва високоякісного коксу широко використовують імпортне малосірчисте вугілля (в першу чергу російське), витрата якого в останні роки становила в середньому по Україні до 485 кг/т коксу [4].

Аналіз сучасного стану і тенденцій забезпечення України паливно-енергетичними ресурсами власного виробництва [5] дозволяє стверджувати, що:

1. Викопне вугілля наразі і в оглядному майбутті є і залишиться для нашої країни єдиним власним реальним ресурсом палива та хімічної сировини.

2. Існує та посилюється невідповідність між структурами наявних геологічних запасів та видобутку викопного вугілля. Внаслідок цього частка у видобутку добре спікливих марок вугілля – жирного та коксового – в кілька разів перевищує їх частку в геологічних запасах.

3. Необхідні розробка та реалізація комплексу науково-технічних заходів, спрямованих на раціональне застосування найцінніших марок коксівного вугілля з метою їх економії та якнайповнішого використання притаманного їм хімічного (головним чином – спікливого) потенціалу.

4. Для ефективного використання наявних запасів українського викопного вугілля необхідно збільшувати обсяги використання енергетичних марок вугілля як заміників добре спікливих марок та отримуваних з них продуктів, в першу чергу – кам'яновугільного коксу.

Технологічне паливо використовується практично в усіх переділах металургійного виробництва – при підготовці руд та нерудних матеріалів, виплавленні чавуну та сталі, отриманні прокату. При цьому в собівартості кінцевої металургійної продукції – прокату – більшу частину складають витрати за першим переділом – доменним виробництвом. Це виробництво як паливо використовує в першу

чергу кокс, який в доменній печі виконує три головні функції [6]:

– джерело тепла для здійснення хімічних реакцій та фазових перетворень матеріалів доменної шихти;

– відновлювач в хімічних реакціях;

– розпушувач стовпа шихтових матеріалів.

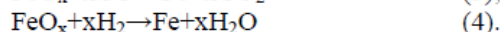
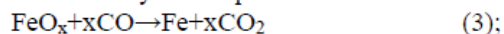
Кокс є найдорожчим компонентом доменної шихти, тому в сучасному доменному виробництві у великих масштабах використовують інші види палива, які надходять в доменну піч разом з нагрітим дуттям або коксом. Протягом ХХ ст. питома витрата коксу на виплавлення чавуну знизилась з 800-1000 до 250-300 кг/т чавуну на провідних підприємствах.

Будь-які замітники можуть частково приймати на себе функції відновника та джерела тепла (найперспективнішим з таких є пиловугільне паливо). Кокс як розпушувач замінити нічим, бо він – єдиний компонент доменної шихти, який залишається в твердій фазі на нижніх горизонтах печі в зоні найвищих температур і забезпечує потрібну газопроникність засипу та дренаж рідких продуктів плавлення. При використанні заміників витрата коксу зменшується, і той кокс, що лишився, має бути ефективним розпушувачем в умовах збільшених навантажень, тобто значна частина коксу повинна надходити із збереженням своїх первинних властивостей до нижньої зони доменної печі, де вуглець коксу згорятиме при взаємодії з киснем дуття. Утворений діоксид вуглецю та водяна пара (яка надійшла в складі дуття та утворилася при спалюванні водню, близько 0,5 % якого міститься в органічній масі коксу) рухаються догори та газифікують кокс:

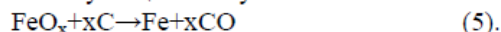


Оксид вуглецю та водень відновлюють залізо з рудних матеріалів. Хімізм цього

процесу в спрощеному вигляді можна записати наступними рівняннями:



Таке відновлення є непрямим. Використання газів-відновників ефективніше, ніж пряме відновлення безпосередньо твердофазним вуглецем коксу:



Згідно з цим вимоги до якості коксу при його частковій заміні іншими паливами значно збільшуються. Кокс повинен мати невелику реакційну здатність (не вище 35 % за ДСТУ 4703:2006), щоб більша його частина доходила до зони фурм. Однак до недавнього часу в Україні показники реакційної здатності металургійного коксу у більшості виробників дорівнювали 40-45 %, що є несумісним з вимогами сучасної доменної технології.

Коллективом фахівців провідних коксохімічних та металургійних підприємств і організацій України протягом 1998-2011 рр. у відповідності з Програмою реформування гірничо-металургійного комплексу України на період до 2010-2015 рр., Програмою «Українське вугілля», Енергетичною стратегією України на період до 2030 р. виконаний комплекс теоретичних проробок, експериментальних досліджень та промислових робіт, спрямованих на підвищення ефективності металургійного виробництва на основі використання українського вугілля. Метою було створення ефективної енергозберігаючої імпортозаміщуючої технології отримання чавуну шляхом комплексного використання українських вугільних ресурсів.

Для досягнення зазначеної мети вирішено важливі наукові завдання, зокрема:

1. Показано, що значне поліпшення якості коксу (в тому числі за показниками реакційної здатності та післяреакційної міцності) є необхідною умовою для скорочення його витрати в доменних печах шляхом заміни іншими видами палива (в першу чергу пилувугільним) [7].

2. Науково обґрунтовані фізико-хімічні та технологічні властивості вугільних шихт, необхідних для виробництва в Україні високоякісного коксу, визначені технологічні параметри їх підготовки та коксування для стабільного забезпечення якості отриманого коксу на рівні крашних світових зразків [8].

3. Розроблено і впроваджено на провідних коксохімічних підприємствах України технологію позапічної підготовки коксу з метою формування його властивостей, необхідних для ефективного використання в доменному процесі [9].

4. Підвищено ефективність використання в доменному виробництві додаткових видів палива, в першу чергу пилувугільного. Розроблені теоретичні основи та технічні рішення з підготовки коксу на металургійних підприємствах до доменної плавки, спрямовані на повне використання енергохімічного потенціалу коксу при виплавленні чавуну, забезпечення високих рудних навантажень в доменній печі, що дає можливість скоротити витрати коксу шляхом заміни значної його частини пилувугільним паливом [10].

5. Удосконалено технологію доменної плавки з використанням коксу поліпшеної якості та пилувугільного палива. На підставі теорії повної та комплексної компенсації технологічних параметрів процесу виплавлення чавуну при заміні частини коксу пилувугільним паливом обрані компенсуючі заходи, які дозволили оптимізувати технологію доменної плавки [11].

Практичне значення отриманих результатів полягає в тому, що:

1. Розроблені марочні та компонентні склади вугільних шихт (в тому числі з повним виключенням імпортного вугілля) з комплексом технологічних властивостей, які забезпечують отримання високоякісного коксу на рівні крашних світових зразків для роботи сучасних доменних печей з використанням пилувугільного палива [12].



2. На провідних коксохімічних підприємствах України (ПАТ «АКХЗ», ПрАТ «Макіївкокс», ПАТ «Ясинівський КХЗ») реалізована технологія отримання високоякісного коксу для використання на доменних печах ПАТ «Донецький МЗ» (із заміною частини коксу пиловугільним паливом) [13] та ПАТ «Єнакіївський МЗ» [14], а також для постачання на експорт.

3. Використання високоякісного коксу при виплавленні чавуну на зазначених металургійних підприємствах дозволило значно скоротити використання в доменному виробництві імпортного природного газу та коксу: на ПАТ «Донецький МЗ» – до 390 кг коксу на одну тону чавуну з одночасним використанням до 170 кг/т пиловугільного палива і повною відмовою від використання природного газу [15] та на ПАТ «Єнакіївський МЗ» – до 430 кг/т чавуну із заміною решти доменного коксу коксовим горіхом [16].

4. Виплавлення чавуну з використанням високоякісного коксу, пиловугільного палива та з урахуванням компенсуючих заходів в технології доменного виробництва дозволило суттєво інтенсифікувати процеси відновлення заліза із руд в доменних печах та підвищити внаслідок цього продуктивність домен на 9,2-17,1 % [17]. Впровадження комплексу розроблених технічних рішень дало можливість отримання додаткового прибутку при виробництві високоякісного коксу та використанні його при виплавленні чавуну в розмірі 13,3 грн./т переробленого на коксохімічному підприємстві вугілля та 6,6 грн./т виплавленого чавуну [18].

5. Реалізовані технології дозволяють економити 60-100 м<sup>3</sup> імпортного природного газу на кожен тону виплавленого чавуну. Виробництво високоякісного доменного коксу з шихти на основі українського вугілля (зокрема, шахти «Красноармійська Західна № 1») сприяє економії імпортного коксівного вугілля у кількості в середньому 485 кг на тону виробленого коксу.

6. Якість отриманого коксу відповідає кращим світовим зразкам, що дозволило значно (на порядок) збільшити його експорт. Також покращується якість виплавленого чавуну і продукції наступних виробництв (сталі, прокату, металовиробів), що додатково збільшує експортні можливості та сприяє поліпшенню зовнішньоторгівельного балансу держави.

Колективом авторів на підставі виконаного комплексу робіт сформульовані, теоретично обґрунтовані та практично підтвержені наступні *головні напрямки поліпшення якості коксу* внаслідок покращення структурних характеристик та показників, що характеризують його властивості:

1. Формування раціональної сировинної бази коксування:

- забезпечення потрібних властивостей вугільної шихти, перш за все по зольності, сірчистості, ступеню метаморфізму;
- збільшення глибини збагачення та зменшення зольності вугільних концентратів;
- підвищення ступеня однорідності вугільних шихт за петрографічним складом;
- зменшення кількості концентратів, які використовують для приготування шихти на кожному підприємстві;
- збільшення видобутку малосірчистого вугілля із сприятливим хімічним складом мінеральної частини.

2. Раціональна технологія коксування:

- спрямований вплив на фізико-хімічні процеси термічної деструкції та синтезу для отримання коксу з якнайбільшою часткою дільниць анізотропної структури (підвищення ступеня впорядкованості вуглецю коксу);
- зниження швидкостей коксування до рівня не більше 28 мм/годину;
- коригування температурного режиму при змінах умов коксування;
- додаткове витримання коксу в камері коксування з відповідним коригування режиму опалювання.

3. Післяпічна обробка коксу:

– забезпечення стабільного рівня вологості коксу;

– раціональний рівень механічних навантажень на кокс при його сортуванні та додаткова механічна обробка коксу для реалізації наявних центрів механічних навантажень та трішиноутворення;

– обробка поверхні коксу з метою закриття пор та тріщин, а також інгібування процесів газифікації;

– використання сухого гасіння для стабільного зниження вологості коксу до 0,5-1,5 %, утилізації тепла розпеченого коксу, поліпшення його властивостей внаслідок витримування в форкамері та додаткового накладання механічних зусиль в форкамері і камері гасіння.

Волога та мінеральні речовини коксівного вугілля є баластом в шихтах коксохімічних підприємств. Наприклад, для умов роботи ПрАТ «Макіївкокс» показано, що зниження вологості з 10,7 % до 9,5 % дає щорічний економічний ефект 20,4 млн. грн. Зниження зольності шихти з 8,4 до 8,1 % дозволяє підвищити механічну міцність металургійного коксу, що в умовах роботи доменної печі № 1 ПАТ «ДМЗ» дає можливість додатково отримувати майже 9000 т чавуну на рік.

Зниження вологості та зольності коксівного вугілля дозволяє отримати суттєвий економічний ефект як в коксохімічному, так і в доменному виробництві.

Досвід доменних печей ПрАТ «Донецьксталь» – металургійний завод» переконливо підтвердив можливості та ресурси коксу «Преміум», який має стабільні показники післяреакційної міцності  $CSR$  в межах 50-55 %: підвищення вдвічі витрати пилувугільного палива, виключення зі складу дуття природного газу, підвищення рівня теоретичної температури горіння на 100-150 °С, зниження витрати скіпового коксу від 520-560 до 360-420 кг/т чавуну.

*Концепція* впровадження нової комплексної технології використання українського вугілля

при виробництві коксу включала в себе наступні етапи:

1. Створення технології та устаткування для приготування пилувугільного палива з метою часткової заміни коксу в доменному процесі.

2. Реалізація технології виробництва високоякісного коксу.

3. Удосконалення технології та обладнання для виплавлення чавуну з використанням високоякісного коксу і пилувугільного палива без застосування природного газу.

4. Впровадження технічно та економічно ефективних рішень щодо технології збагачення коксівного вугілля та використання продуктів збагачення.

Теоретичне та експериментальне обґрунтування головних напрямків поліпшення властивостей коксу дозволило сформулювати вимоги до коксу підвищеної якості, призначеного для використання в доменних печах одночасно з пилувугільним паливом. Ці вимоги були узагальнені в технічних умовах ТУ У 23.1-00190443-086:2006, розроблених Українським державним науково-дослідним вуглехімічним інститутом УХІН згідно із завданням ПрАТ «Донецьксталь» – металургійний завод» та затверджених у встановленому порядку. Вперше в Україні до технічних умов введені показники реакційної здатності та післяреакційної міцності коксу згідно з міжнародним стандартом ISO 18894:2006, на підставі якого в Україні з 01.01.2008 був введений в дію ДСТУ 4703:2006.

Виходячи з наведених даних, вугільна сировина для виробництва високоякісного коксу повинна мати достатню спікливість, низькі зольність та сірчаність, сприятливий склад мінеральної частини (індекс основності золи  $I_0$  має не перевищувати 0,2) [19]. В результаті комплексного дослідження властивостей вугілля шахти «Красноармійська Західна № 1», виконаного фахівцями ПрАТ «Донецьксталь» – МЗ» та УХІНУ,



встановлено, що це вугілля відповідає наведеним вище вимогам, але є маловідновленим, тобто нетиповим для Донецького басейну. Класифікація українського вугілля за ДСТУ 3472-96 не передбачала сукупності параметрів, характерної для вугілля шахти «Красно-армійська Західна № 1», що не давало можливості віднести його до певної технологічної марки. В той же час співставлення технологічних властивостей цього вугілля з типовими зразками коксівного вугілля Донецького басейну засвідчило, окрім низької сірчистості та сприятливого складу мінеральної частини, його добру коксівність, тобто здатність утворювати при нагріві без доступу повітря міцний мало реакційно-здатний кокс. Експериментально встановлений в УХІНі коефіцієнт технологічної цінності цього вугілля має максимальне значення – 1,0. Це дало підставу в новій редакції ДСТУ 3472:2010 «Вугілля буре, кам'яне та антрацит. Класифікація» виділити вугілля шахти «Красноармійська Західна № 1» в окрему технологічну групу К1 (вугілля коксове перше).

Розроблені склади шихт для отримання високоякісного коксу характеризуються товщиною пластичного шару у в межах 13-15 мм, що забезпечує достатню спіклівість. Сірчистість  $S_d^d \leq 1,1$  % та індекс основності золи  $I_o = 0,20-0,22$  дають можливість отримання коксу з низькою реакційною здатністю та високою післяреакційною міцністю. Низький рівень зольності шихти дає можливість отримувати низькозольний кокс, що є передумовою для зниження його витрати при виплавленні чавуну та інтенсифікації роботи доменних печей. Шихта має значення середнього показнику відбивання вітриніту більше від 1,00 %, що забезпечує її достатню коксівність.

Теоретично обґрунтований та експериментально визначений потрібний рівень подрібнення шихти – до 79-83 % вмісту класу менше 3 мм. Це забезпечує оптимальне

співвідношення між кількістю утворюваних при термічній деструкції рідкорухливих продуктів та величиною змочуваної ними поверхні.

При розробці технологічних параметрів коксування виходили з того, що загальна швидкість процесу має забезпечувати достатню глибину здійснення термохімічних поліконденсаційних процесів на стадії коксування і в той же час давати можливість технічно та економічно ефективно використовувати наявний пічний фонд. Дослідно-промисловими коксуваннями показано, що ці умови виконуються при швидкості коксування 25-28 мм/годину. Належна готовність коксу досягається при рівні кінцевих температур коксування за віссю пирога 1100-1150 °С. Цей рівень температур забезпечує також потрібну міцність коксового пирогу при його вивантаженні з камери.

Завершальною стадією формування властивостей коксу на коксохімічному підприємстві є післяпічна обробка, найпрогресивніший елемент якої – сухе гасіння – протягом тривалого часу в широких масштабах використовується на ПАТ «АКХЗ». Це дає можливість стабільного зниження вологості коксу до 0,5-1,5 %, утилізації тепла розпеченого коксу, поліпшення його властивостей внаслідок витримання в форкамері та додаткового накладання механічних зусиль в форкамері і камері гасіння. Зокрема, реакційна здатність коксу знижується на 3-5 %, а післяреакційна міцність поліпшується на 5-8 %. Важливе значення для успішної експлуатації установок сухого гасіння коксу мають виконані ПАТ «АКХЗ» та УХІНом в останні роки роботи з визначення виходу коксу [20], зниження його втрат при частковій газифікації та поліпшення екологічних показників, розподіла температур за висотою та перетином камер сухого гасіння. Енергозберігаючий ефект від використання сухого гасіння коксу, визначений за методикою ДСТУ 4370:2011

«Енергозбереження. Коксохімічне виробництво. Ресурси енергетичні вторинні. Методика визначення показників виходу та використання» (розробники – Є.Т.Ковальов, І.В.Шульга), полягає в утилізації більше 85 % теплової енергії розпеченого коксу для виробництва пари та електроенергії.

Для умов мокрого гасіння коксу теоретично обґрунтовано, що для післяпічної обробки та поліпшення якості коксу доцільно використовувати розчини хімічних сполук р-елементів (головних підгруп III-VII груп періодичної системи), які утворюють стійкі хімічні комплекси, на відміну від s- та d-елементів – каталізаторів реакції газифікації вуглецю коксу [9, 17].

Принципова технологічна схема отримання коксу поліпшеної якості наведена в загальному вигляді на рис. 1. Тверді та петрографічно неоднорідні компоненти вугільної шихти з групи бункерів 1 крізь дозатори 2 за допомогою конвеєра 3 надходять на дробарку попереднього подрібнення 4. М'яке петрографічно однорідне вугілля з іншої групи бункерів 5 одразу потрапляє на збірний конвеєр 6 та в дробарку остаточного подрібнення 7, після чого конвеєром 8 транспортується нагору вугільної башти 9, з якої за допомогою вуглезавантажувального вагону потрапляє в камери коксування 10. Отримувані при коксуванні парогазові продукти надходять в газозбірник 11, а звідти – на переробку до хімічних цехів. Одержуваний кокс надходить на установку сухого або мокрого гасіння 12, звідки похилим конвеєром 13 спрямовується на коксортировку, де розсівається на валкових 14 та інерційних 15 грохотах. Виділений на сортировці доменний кокс для поліпшення реакційної здатності обробляється крізь форсунки 16 розчинами, які готуються на установці 17.

Властивості коксу, отриманого внаслідок реалізації розробленої технології, наведені у таблиці. Як видно з них, властивості коксу

поліпшеної якості та показники його використання в доменних печах значно перевищують аналогічні для більшості українських виробників і відповідають сучасному світовому рівню.

Досвід виробництва коксу поліпшеної якості узагальнений в Методичних рекомендаціях, затверджених наказом Міністерства промислової політики України № 271 від 27.09.2011.

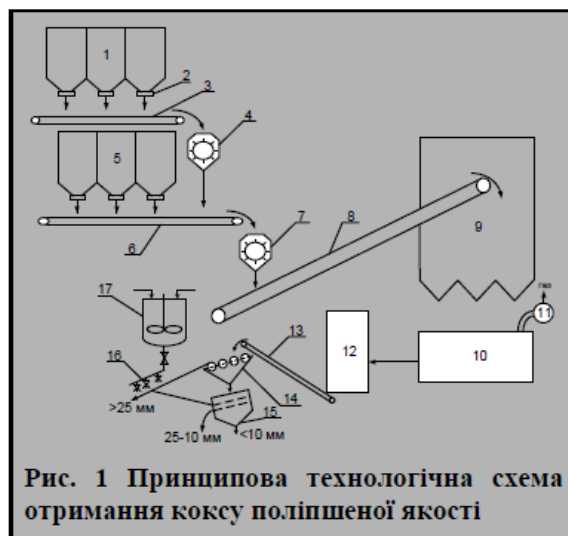


Рис. 1 Принципова технологічна схема отримання коксу поліпшеної якості

з метою удосконалення підготовки металургійного коксу до доменної плавки в умовах металургійного підприємства [21]:

- теоретично обґрунтовані максимальний та мінімальний розміри кусків скипового коксу, які потім були підтверджені промисловими дослідженнями;
- визначений раціональний ситовий склад коксового горіху для використання в якості заміни доменного коксу;
- запропоноване та освоєне устаткування для виділення з відсівів доменного коксу коксового горіху крупністю 10-28 (40) мм;
- розроблена система завантаження коксового горіху в доменну піч в суміші з окатишами (агломератом);

– досліджена та оптимізована технологія доменної плавки з використанням коксового горіху в кількості 17-30 кг/т чавуну.

Для вирішення завдання освоєння технології доменної плавки з підвищеною витратою пиловугільного палива (120-180 кг/т чавуну) [22]:

– розроблена теорія повного та комплексного компенсування технологічних параметрів процесу виплавлення чавуну при заміні частини коксу пиловугільним паливом, що дозволяє обирати найраціональніші компенсуючі заходи та здійснювати оптимізацію технології доменної плавки;

– поліпшені до європейського рівня ( $4^{го}$ - $5^{го}$  покоління) показники пилокомплексу за найважливішими параметрами (розмір подрібнених вугільних зерен, нерівномірність надходження пиловугільного палива в часі та по фурмах ( $\pm 5$ - $10$  %), повнота газифікації пиловугільного палива в доменній печі

(більше від 99 %), автоматизація, вибухо- та пожежобезпечність, екологія;

– поліпшена якість пиловугільного палива шляхом введення до складу шихти для його приготування суміші малосірчистого газового вугілля в кількості 40-60 %. Це дозволило знизити сірчистість пиловугільного палива до 0,7-0,8 %, збільшити надходження водню в газову фазу доменної печі на 36-40 м<sup>3</sup>/т чавуну, збільшити витрати кисню на збагачення дуття;

– поліпшені властивості залізородної шихти доменних печей за рахунок виключення марганецьмістких компонентів та агломерату, зниження основності шлаку, тощо; оптимізовані баланс і розподіл сірки та лугів у доменній плавці;

– вперше в Україні реалізована технологія виплавлення чавуну з окатишів без використання агломерату в залізородній частині доменної шихти.

#### Співставлення властивостей доменного коксу поліпшеної якості та показників його використання з сучасним вітчизняним та світовим рівнем

Показники та одиниці виміру	Досягнутий рівень	Вітчизняний рівень	Світовий рівень
Зольність, $A^d$ , %	$\leq 11,0$	$\leq 12,0$	$\leq 11,0$
$S^d$ , %	0,80-0,85	1,20-1,40	$\leq 1,00$
Механічна міцність:			
$M_{40}$ , %	$\geq 76$	73-75	$\geq 76$
$M_{25}$ , %	$\geq 88$	82-87	-
$M_{10}$ , %	$\leq 7,5$	$\leq 8,0$	$\leq 7,5$
Вміст класів крупності:			
$>80$ мм, %	$\leq 15$	$\leq 18$	$\leq 20$
$<25$ мм, %	$\leq 3,5$	$\leq 4,0$	$\leq 3,5$
Реакційна здатність CRI, %	$\leq 30$	35-45	$\leq 30$
Післяреакційна міцність CSR, %	$\geq 55$	35-45	$\geq 55$
Вихід летких речовин $V^{dar}$ , %	$\leq 0,8$	$\leq 1,2$	$\leq 1,0$
Питома витрата коксу, кг/т чавуну	390-430	520-550	300-400

Принципова технологічна схема виплавлення чавуну з використанням коксу поліпшеної якості та пиловугільного палива надана на рис. 2.

Доменний кокс, що надійшов з коксохімічного підприємства, пересівається на вібраційних грохотах 1. Виділений при цьому дрібний відсів додається до залізородної



частини шихти. За допомогою скіпа 2 та засипного пристрою 3 компоненти доменної шихти – кокс, залізорудна частина (зрч), флюси – надходять до колошника 4 доменної печі 5, де під час руху в протитіці з газовою фазою здійснюються термохімічні перетворення з відновленням заліза з рудної частини. Додаткове паливо (вугілля) з бункера 6 надходить до кульового млина 7, де подрібнюється до максимального розміру часток 0,1 мм та разом з дуттям за допомогою трубопроводу 8 розподіляється по фурмах 9. Рідкі продукти плавки (чавун та шлак) відводяться крізь льотки з нижньої частини печі.



Рис. 2 Принципова технологічна схема виплавлення чавуну з використанням коксу поліпшеної якості та пило-вугільного палива

Таким чином, виконання комплексу теоретичних та практичних робіт дозволило на основі встановлених закономірностей успішно вирішити важливу наукову, технологічну і економічну проблему створення і впровадження ефективної енерго-

зберігаючої технології металургійного виробництва на основі комплексного використання українських вугільних ресурсів без застосування імпортного вугілля для отримання високоякісного коксу та відмовитись від використання імпортного природного газу при виплавленні чавуну.

#### Бібліографічний список

1. *Абросимов Н.И. Состояние и перспективы металлургической отрасли Украины / Н.И. Абросимов // Пылеугольное топливо – альтернатива природному газу при выплавке чугуна: труды междунауч. конф. – Донецк: Унитех, 2006. – С. 21-24.*
2. *Большаков В.И. Состояние и перспективы развития черной металлургии Украины на основе энергосберегающих технологий / В.И. Большаков, Л.Г. Губольцев // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2006. – № 2. – С. 1-5.*
3. *Ноздрачев В.А. Перспективные технологии доменной плавки с применением кислорода и пылеугольного топлива / В.А. Ноздрачев, С.Л. Ярошевский, В.П. Терещенко. – Донецк: Новый Мир, 1996. – 173 с.*
4. *Гусак В.Г. О марочной структуре и технологических свойствах углей, импортируемых в Украину для коксования / В.Г. Гусак, И.Д. Дроздник // Углехимический журнал. – 2011. – № 1-2. – С. 3-11.*
5. *Дроздник И.Д. О квалифицированном использовании малометаморфизованных углей / И.Д. Дроздник, И.В. Шульга // Збагачення корисних копалин: Сб. научн. тр. – Днепропетровск: НГУ, 2009. – В. 36 (77) – 37 (78). – С. 56-59.*
6. *Бабич А.И. Интенсификация использования пылеугольного топлива в доменной плавке / А.И. Бабич, С.Л. Ярошевский, В.П. Терещенко. – К.: Техніка, 1993. – 200 с.*
7. *Ковалев Е.Т. Формирование свойств кокса. Реакционная способность /*

- Е.Т. Ковалев, В.М. Шмалько, И.В. Шульга, А.И. Рыщенко // УглеХимический журнал. 2006. № 5 – 6. С. 13 – 20.*
8. *Старовойт А.Г. Современная сырьевая база для коксования, ее структура и требования к качеству кокса / Анатолий Григорьевич Старовойт // Новини науки Придніпров'я. – 2010. – Май. – С. 22-25.*
9. *Коломийченко А.И. Улучшение качественных показателей CRI/CSR доменного кокса с помощью неорганических добавок / А.И. Коломийченко, И.В. Золотарев, В.А. Тамко [и др.] // УглеХимический журнал. – 2007. – № 5. – С. 50-54.*
10. *Ярошевский С.Л. Резервы эффективности комбинированного дутья в доменных цехах Украины / С.Л. Ярошевский, А.М. Кузнецов, З.К. Афанасьева. – Донецк: Норд ком'ютер, 2006. – 32 с.*
11. *Филатов Ю.В. Эффективность применения кокса улучшенного качества («Премиум») при работе доменных печей с применением пылеугольного топлива / Ю.В. Филатов, А.Н. Рыженков, А.В. Емченко [и др.] // Черная металлургия. – 2011. – № 1. – С. 30-40.*
12. *Рыженков А.Н. Требования к качеству кокса для доменной плавки с использованием пылеугольного топлива и промышленный опыт производства такого кокса в Украине / А.Н. Рыженков, А.И. Гордиенко, Е.Т. Ковалев, И.В. Шульга // Пылеугольное топливо – альтернатива природному газу при выплавке чугуна: труды между. научн.-техн. конф. – Донецк: Унитех, 2006. – С. 65-76.*
13. *Филатов Ю.В. Опыт производства доменного кокса улучшенного качества из украинских углей и испытание его в доменной печи с использованием ПУТ / Ю.В. Филатов, Б.П. Крикунов, А.И. Гордиенко [и др.] // УглеХимический журнал. 2007. № 5. С. 11 – 18.*
14. *Подкорытов А.Л. Опыт освоения и оптимизации технологии на доменной печи № 5 Енакиевского металлургического завода /*
- А.Л. Подкорытов, А.М. Кузнецов, В.П. Падалка [и др.] // Бюл. Черная металлургия. – 2008. – № 11. – С. 59-70.*
15. *Филатов Ю.В. Влияние кокса повышенного качества на работу доменной печи с вдуванием пылеугольного топлива без применения природного газа / Ю.В. Филатов, А.Н. Рыженков, Б.П. Крикунов [и др.] // Пылеугольное топливо – альтернатива природному газу при выплавке чугуна: труды между. научн.-техн. конф. – Донецк: Унитех, 2006. – С. 248-254.*
16. *Литвинов Л.Ф. Эффективность технологии доменной плавки при загрузке в печь коксового орешка в смеси с железорудной шихтой / Л.Ф. Литвинов, С.Л. Ярошевский, А.М. Кузнецов [и др.] // Металл и литье Украины. – 2004. – № 12. – С. 5-9.*
17. *Васильев Ю.С. Разработки УХИНа по совершенствованию промышленной технологии коксования / Ю.С. Васильев, И.В. Шульга, Э.И. Горяник // УглеХимический журнал. – 2010. – № 3-4. – С. 38-48.*
18. *Филатов Ю.В. Влияние снижения влажности и зольности шихты на экономические показатели коксохимического и доменного производства / Ю.В. Филатов, М.А. Ильяшов, А.И. Коломийченко [и др.] // УглеХимический журнал. – 2010. – № 5-6. – С. 41-45.*
19. *Рыщенко А.И. Влияние свойств углей на реакционную способность и после-реакционную прочность кокса / А.И. Рыщенко, И.В. Шульга, Д.В. Мирошниченко, В.М.Шмалько // УглеХимический журнал. – 2009. – № 5-6. – С. 17-22.*
20. *Васильев Ю.С. Выход валового кокса при коксовании влажной шихты и сухом тушении кокса на Авдеевском коксохимическом заводе / Ю.С. Васильев, С.И. Кауфман, В.И. Гаврилюк [и др.] // УглеХимический журнал. – 2005. – № 5-6. – С. 9-13.*

21. Ярошевский С.Л. Ресурсы и эффективность полной и комплексной компенсации при использовании пылеугольного топлива в доменной плавке / С.Л. Ярошевский, А.В. Емченко, В.Е. Попов [и др.] // Черная металлургия. – 2010. – № 7. – С. 30-40.

22. Филатов Ю.В. Полная и комплексная компенсация повышает эффективность пылеугольной технологии / Ю.В. Филатов, А.В. Емченко, В.П. Ивлев [и др.] // Бюл. Черная металлургия. – 2010. – № 9. – С. 23-30.

Рукопись поступила в редакцию 03.07.2011

