

ДОМЕННА ПЛАВКА ПІД ТИСКОМ І ЗБАГАЧЕННЯ ДУТТЯ КИСНЕМ –
ІНТЕНСИФІКАТОРИ ПРОЦЕСУ ЧИ НЕОБҐРУНТОВАНА ДАНИНА ТРАДИЦІЯМ

Крячко Г.Ю.

канд. техн. наук, доцент, Дніпровський державний технічний університет,
м. Кам'янське, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8773-508X>, e-mail:
наука_m4m@ukr.net;

Сігарьов Є.М.

д-р техн. наук, професор, Дніпровський державний технічний університет,
м. Кам'янське, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8229-7877>, e-mail: en_sigarev@ua.fm

Показана помилковість існуючих тверджень про необґрунтовану доцільність використання підвищеного тиску газу в робочому просторі доменних печей і збагачення дуття киснем в якості інтенсифікаторів доменного процесу, обумовлена некоректним співставленням роботи печей різного об'єму, що працювали у різко відмінних силових та експлуатаційних умовах. На прикладі двох доменних печей одного підприємства, об'єм яких відрізнявся майже у два рази, показано, що зі збільшенням корисного об'єму печі значення підвищеного тиску газу, як засобу інтенсифікації плавки, зростає в порівнянні з агрегатами меншої потужності. Наведено основні причини зростання опору стовпа шихти, пов'язані як зі зменшенням об'ємної частки коксу в «сухій» зоні печі, так і потонінні коксових «вікон» в зоні когезії при зменшенні об'ємної частки коксу, завищенням робочої висоти доменних печей радянських проєктів та необхідністю утворення потужних фурменних вогнищ для перерозподілу фурменного газу до центру печі при зростанні потужності агрегатів. Саме для подолання дії негативних факторів з метою інтенсифікації плавки дуттям повсюдно використовується доменна плавка під тиском. Отримані за результатами досліджень дані не тільки свідчать про дієвість застосування підвищеного тиску газу, але й вказують на диференційований його вплив на інтенсивність плавки в печах різного об'єму. Згідно з результатами дослідження без залучення підвищення тиску газу на колошнику, як інтенсифікатора доменної плавки, форсування ходу печі дуттям може бути здійснено лише за рахунок збільшення нерівномірності радіального газорозподілу з перевитратою коксу. Показано, що підвищення тиску газу в робочому просторі печей і збагачення дуття киснем не є антагоністами, оскільки спрямовані на подолання негативних змін різної природи, що виникали в процесі удосконалення доменної плавки.

Ключові слова: доменна піч, інтенсифікатори, тиск газу, опір, збагачення, кисень, дуття, форсування.

Постановка проблеми

З появою відомих монографій М.І. Красавцева (1958 р.), В.М. Щедрина (1962 р.) і О.Н. Рамма (1980 р.), узагальнюючих досвід впровадження доменної плавки під тиском, склалися певні засади для використання підвищеного тиску газів (ПТГ) в якості інтенсифікатора доменного процесу. Проблема виникла тому, що на зламі століть [1] в технічній літературі і надалі [2, 3] з'явилися публікації, які ставлять під сумнів доцільність використання ПТГ і подальше впровадження технології збагачення дуття киснем (ЗДК), які не виправдали очікувань [3] і навіть являють собою міфи минулих років [2]. Оскільки останні публікації впливають на сучасну технологічну політику організації доменного процесу слід розглянути аргументацію авторів [1-3] стосовно досліджуваного питання. Прикладом становища, що склалося, є поява навчального посібника, в якому ПТГ не розглядається в якості інтенсифікатора плавки [4].

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Перше критичне зауваження на адресу доцільності використання підвищеного тиску в робочому просторі печі обґрунтовується тим, що в попередні роки, коли печі працювали на нормальному (зазвичай надмірному до 20 кПа) тиску газу на колошнику і без збагачення дуття киснем, інтенсивність горіння коксу була

значно вище, ніж на сучасних печах (Е.Г. Донсков зі співавторами, 2013). В якості аргументу наводиться порівняння роботи печей з видань М.О. Павлова 1949 р. видання та І.З. Козловича 1951 р. [3] з роботою печей кінця ХХ і початку ХХІ століття. Нажаль зміни, що відбулися в структурі стовпа шихти в процесі удосконалення підготовки плавильних матеріалів і зростання потужності доменних печей, а також впровадження прогресивних технологій плавки, які визначають організацію газодуттєвого режиму та інтенсивність плавки, авторами [1-4] були проігноровані.

Друге критичне зауваження стосується впливу ПТГ на роботу доменного компресора. Е.Г. Донсковим зі співавторами (2013 р.) та у роботі [2] стверджується, що доменна плавка під тиском ускладнює роботу компресора і вимагає збільшення його потужності. Багаторічний досвід показав, що позитивні зміни у веденні доменного процесу під тиском переважають перевитрати енергії на стиснення дуття, тому вказане вище зауваження можна вважати безпідставним. Між тим слід визнати факт недостатньої потужності вітчизняних повітродувок, що гальмує встановлення бажаного газодуттєвого режиму (Г.Ю. Крячко, 2002).

В якості аргументу на користь недоцільності використання ПТГ автори наводять матеріали публікації Є.Г. Тетерев'ятникова і В.Н. Андронova (1957 р.), де перелічуються недоліки в організації доменної плавки під тиском в перше десятиліття впровадження ПТГ. Це

стосувалося зниження стійкості футерівки шахт, засипних пристроїв, атмосферних клапанів, тощо. Зрозуміло, що перехід на ПТГ був неможливим без суттєвих конструктивних змін доменних печей і допоміжного обладнання, які надалі були впроваджені.

Піддано критиці також сумісне використання підвищеного тиску газу і збагачення дуття киснем, оскільки, як вважають Е.Г. Донсков зі співавторами (2013 р.), вони є антагоністами, посилюючи негативний вплив на газорозподіл в горні, зменшуючи розміри зон горіння.

В якості альтернативи застосуванню ПТГ і ЗДК пропонується збільшення сумарного перетину повітряних фурм, як засобу збільшення подавання в піч атмосферного кисню. Намагання технологів тривалий час зменшувати діаметр фурм Е.Г. Донсков зі співавторами (2013 р.) вважають шкідливим явищем. На захист власних міркувань наводяться приклади з практики, зокрема досвіду «Азовсталі» 60-х років ХХ ст. в сировинних та експлуатаційних умовах, далеких від сучасних.

Мета статті

Показ помилковості існуючих тверджень про необґрунтовану доцільність використання підвищеного тиску газу в робочому просторі доменних печей і збагачення дуття киснем в якості інтенсифікаторів доменного процесу.

Виклад основного матеріалу

Будь-яке покращення сировинних або експлуатаційних умов доменної плавки завжди призводить до певної економії коксу, яка супроводжується зміною об'єму останнього в стовпі шихти. Для орієнтовної

оцінки цієї зміни провели вибірку практичних даних про роботу різних печей в різних умовах за період з 1955 по 2010 рр. включно, таким чином, щоб діапазон зміни питомої витрати коксу був якомога великим. Об'ємну частку коксу в зоні кускових матеріалів, що окреслюється поверхнею засипу вгорі і верхньою межею зони когезії, розраховували за даними витратних коефіцієнтів всіх матеріалів на 1 т чавуну. Насипну масу матеріалів прийняли наступною: кокс, агломерат, руда залізна, обкотиші, вапняк 0,5; 1,7; 2,4; 2,1; 1,5 т/м³ відповідно.

Результати розрахунку, представлені на рис. 1, а, свідчать про те, що в конкретному прикладі зменшення питомої витрати коксу з 1068 до 293 кг/т чавуну знизило об'ємну частку коксу в шахті доменної печі з 57,7 до 45,6%. Оскільки газопроникність шару коксу в рази більша, ніж залізородних матеріалів, особливо агломерату, то зменшення об'ємної частки коксу в «сухій» зоні печі неминуче призведе до погіршення її газопроникності.

Друга причина негативного впливу на формування стовпа шихти при зменшенні об'ємної частки коксу в ньому полягає у потоншанні коксових «вікон» в зоні когезії і, відповідно, в підвищенні опору останньої.

Третя причина зростання опору стовпа шихти навіть при однакових умовах плавки є актуальною для доменних печей радянських проєктів, в яких суттєво завищена робоча висота, від рівня повітряних фурм до поверхні засипу. Якщо прийняти відносну величину опору шару доменної шихти висотою 1 м ($\Delta P/1$ м) в розмірі 5 кПа, то тільки за рахунок зростання робочої висоти печей втрати напору пічного газу будуть наступними:

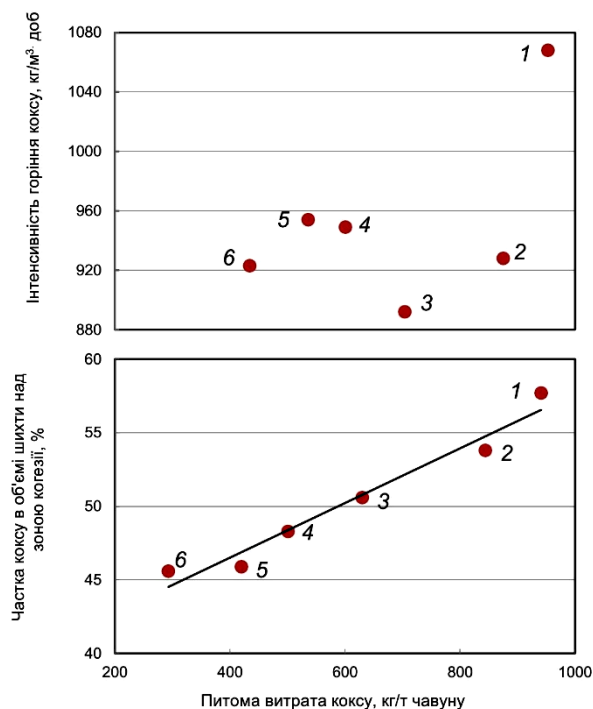
Об'єм печі, м ³	1033	1386	1513	1719	2000	2300	2700	3000	3200	5000	5500
h_p , м	21,5	22,7	24,0	24,3	24,4	25,4	25,8	26,8	26,8	27,6	27,6
$\Delta P_{\text{заг}}$, кПа	108	114	120	122	122	127	129	134	134	138	138
Різниця в порівнянні з ДП 1033 м ³ , кПа		6	12	14	14	19	21	26	26	30	30

Четверта причина зростання опору стосується фурменної зони доменних печей. Впровадження агрегатів більшої потужності пов'язане з неминучим збільшенням опору на повітряних фурмах [5], обумовленим необхідністю утворення потужних фурменних вогнищ для перерозподілу фурменного газу до центру печі.

Саме для подолання дії негативних факторів з метою інтенсифікації плавки дуттям повсюдно використовується доменна плавка під тиском.

Зміна інтенсивності горіння коксу на печах в процесі удосконалення технології виробництва чавуну

показана на рис. 1, б, звідки видно зниження показника інтенсивності в порівнянні з роботою малої печі на нормальному тиску газу без збагачення дуття киснем (поз. 1 на рис. 1, б). Найнижчі показники інтенсивності стосуються колишніх ждановських печей заводу ім. Ілліча та «Азовсталі» (поз. 2 і 3 на рис. 1, б відповідно). Показник інтенсивності печі ЖМЗ відповідає четвертому місяцю після задування печі, а печі «Азовсталі» – роботі печі на бідному залізом камішбурунському агломераті з підвищеним виходом шлаку.



№	$V_k, \text{м}^3$	Підприємство	Рік
1	675	ДнМЗ	1955
2	1719	ЖМЗ	1959
3	1719	АзСт	1963
4	2700	КрСт	1975
5	5500	ССт	2003
6	4400	Таранто, Італія	2010

Рис. 1 – Залежність частки коксу в об'ємі шихтових матеріалів над зоною когезії (а) та інтенсивності горіння коксу (б) від питомої витрати коксу при виплавці переробного чавуну в різних сировинних та експлуатаційних умовах: ДнМЗ – Дніпропетровський металургійний завод; ЖМЗ – Ждановський МЗ; АзСт і КрСт – МК «Азовсталь» і «Криворіжсталь» відповідно; ССт – «Северсталь», рф; V_k – корисний об'єм печі; 4* - 6* - інтенсивність з урахуванням горіння додаткового палива

Оскільки печі, позначені індексами 2-6, працювали з ПТГ і ЗДК з вдуванням заміників коксу, користуватися індексом інтенсивності згорання коксу буде недоречно. Для більш ґрунтовної оцінки впливу ПТГ на інтенсивність плавки використали дані дослідження впливу витрати дуття на хід плавки ДП №9 «Криворіжсталь», проведені Інститутом чорної металургії (м. Дніпро) (І.Г. Ризницький зі співавторами, 1988 р.). За даними цього дослідження розраховували витрати загального кисню в дутті (атмосферне дуття + технологічний кисень на його збагачення), а також природного газу в одиницю часу, співвідношення кисню і природного газу між собою і по відношенню до витрати дуття, інтенсивності роботи печі за паливом і дуттям.

Інтенсивність горіння палива розрахована за виразом $\Pi(k + \Pi')/V_k$, де Π – продуктивність печі, т/доб; k – питома витрата коксу, т/т чавуну; Π' – витрата природного газу в перерахунку на кокс, що був замінений газом: $\Pi' = \Pi \cdot k_3$, де Π – витрата газу, $\text{м}^3/\text{т}$ чавуну; k_3 – коефіцієнт заміни коксу згідно довідника в залежності від витрати газу 0,7-0,8 $\text{кг}/\text{м}^3$; V_k – корисний об'єм печі, м^3 .

Дані, представлені в табл. 1, свідчать про те, що встановити більш форсований газодуттєвий режим у

другому періоді вдалося за рахунок підвищення тиску газу на колошнику зі 181 до 198 кПа і ступені стиснення дуття з 3,59 до 3,67. Завдяки цьому було збільшено витрату дуття на 407 $\text{м}^3/\text{хв}$ і його температуру на 49°C без порушень рівного ходу доменної печі.

В результаті інтенсивність плавки зросла за всіма показниками, причому за паливом до величин, співставними з печами меншого об'єму. За інформацією дослідників, хід печі в III-му періоді відрізнявся нестабільністю, яка виражалася зростанням і коливанням температури периферійного газу, обривами шихти і неможливістю управління режимом завантаження і оточуваним газорозподілом. Причина погіршення роботи печі в цьому періоді полягає в наступному. Збільшення витрати дуття без підвищення тиску газу на колошнику стало можливим за рахунок збільшення нерівномірності газорозподілу, а саме за рахунок розкриття периферії. Розкриття периферії сприяло падіння ступеня стиснення дуття в порівнянні з базовим (3,55 проти 3,59) і другим періодами (3,55 проти 3,67). Наслідком посилення периферійного ходу стало суттєве зниження рудного навантаження 3,72 проти 3,86 в базовому періоді і проти 3,90 у другому.

Таблиця 1

Показники роботи доменної печі №9 МК «Криворіжсталь» під час випробувань різних газодуттєвих режимів, розраховані за даними І.Г. Ризницького зі співавторами (1988 р.)

Показник	Періоди		
	I	II	III
Тривалість періодів, діб	31	53	23
Продуктивність, т/доб	9499	9820	9837
Витрата коксу, кг/т чавуну	470	463	471
Дуття:			
загальна витрата, м ³ /хв	7548	7955	8202
витрата кисню, м ³ /хв	2385	2426	2321
температура, °C	1128	1177	1177
вміст кисню, %	31,6	30,5	28,3
надмірний тиск, кПа	352	387	386
ступінь стиснення дуття $\epsilon \cdot 10^2$	3,59	3,67	3,55
Природний газ:			
витрата:			
м ³ /хв	844	859	902
% до дуття	11,2	10,8	11,0
% до кисню дуття	0,35	0,35	0,39
Надмірний тиск газу на колошнику, кПа	171	189	190
Перепад тисків – дуття – колошник, кПа	181	198	196
Інтенсивність роботи, т/м ³ ·доб:			
за коксом	0,884	0,909	0,934
за паливом	1,064	1,082	1,108
за рудною шихтою	3,449	3,548	3,450
Інтенсивність роботи за дуттям, м ³ /м ³ ·хв	1,510	1,591	1,640
Рудне навантаження	3,86	3,90	3,72
Вміст кремнію в чавуні, %	0,87	0,76	0,77
Простої, %	0,98	1,40	0,77
Робота на збавленому дутті, %	0,07	0,05	0,05
Кількість горілих фурм:			
всього	23	38	24
за добу	0,7	0,7	1,04

Незважаючи на збільшення часової витрати природного газу в порівнянні з базовим і другими періодами на 58 і 43 м³/хв відповідно витрата коксу в III-му періоді не знизилася, а в порівнянні з другим періодом зросла на 8 кг/т чавуну. Сюди слід додати і те, що в порівнянні з базовим періодом температура дуття в III-му періоді була на 49°C вище, а це як мінімум 1% економії коксу, яка не відбулась.

Таким чином, результати дослідження, наведені вище, показали, що без залучення підвищення тиску газу на колошнику, як інтенсифікатора доменної плавки, форсування ходу печі дуттям може бути здійснено лише за рахунок збільшення нерівномірності радіального газорозподілу з перевитратою коксу.

Слід надати належне науковій об'єктивності і доброчесності автора згаданого вище посібника [4] В.П. Лялюка, який вважав, що «... підвищення тиску газу на колошнику шляхом введення додаткового штучного опору в газовій мережі печі, з фізичної сутності впливу на динаміку дуття-газу еквівалентно впливу погіршення фізичних показників (міцності) залізорудної сировини і палива, тобто зниженню

газопроникності стовпа шихтових матеріалів у доменній печі» (с. 225 посібника [4]). І разом із тим він представив переконливі дані впливу тиску колошникового газу на інтенсивність ходу потужних печей ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» (рис. 2), які спростовують тезу автора, наведену в цитаті. Однак на відміну від авторської інтерпретації даних [4], залежності двох печей представлені в об'єднаному форматі, звідки видно, що при однаковому тиску газу на колошнику інтенсивність плавки на меншій печі вище ніж на більшій (рис. 2, б).

Тобто показані на рис. 2 дані не тільки свідчать про дієвість застосування ПТГ, але й вказують на диференційований його вплив на інтенсивність плавки в печах різного об'єму. Зі збільшенням корисного об'єму доменної печі в підтриманні високого рівня інтенсивності плавки значення підвищення тиску газу на колошнику, як інтенсифікатора процесу, зростає у зв'язку з необхідною компенсацією дії факторів, пов'язаних з конструкційними недоліками потужних печей і змінами структури стовпа шихти, обумовленими як покращенням умов плавки, так і специфікою

радіального газорозподілу. Навпаки зі зменшенням корисного об'єму печі для отримання позитивного ефекту в зростанні інтенсивності плавки достатнє менше за абсолютною величиною підвищення тиску газу в її робочому просторі.

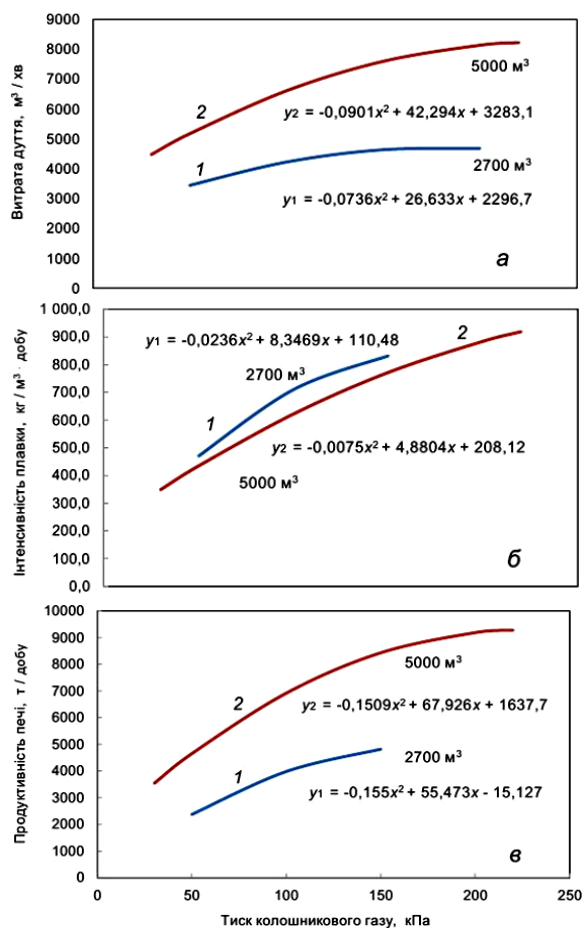


Рис. 2 – Залежності витрати дуття (а), інтенсивності плавки за спаленим коксом (б) і продуктивності печей об'ємом 2700 м³ (1) і 5000 м³ (2) ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» від тиску газу на колошнику за даними В.П. Лялюка [4]

Переконливим прикладом вирівнювання ходу доменної печі під впливом підвищеного тиску газу є інформація про тиск газу на колошнику (рис. 3, а, б) і рівень засипу шихти (рис. 3, в, г). Паперові діаграми з автоматичним записом параметрів, якими користувалися в минулому, свідчать про стабілізацію коливань тиску газу на колошнику і поверхні засипу.

Амплітуда коливань тиску газу на колошнику печі, що працювала при нормальному надмірному тиску (зазвичай < 20 кПа), була суттєвою і характеризувалась так званими газовими поштовхами, що відповідали завантаженню чергових порцій шихти в піч і піками тиску униз при утворенні невеликих каналів на поверхні засипу. Поверхня засипу за нормального тиску газу на колошнику також була нестійкою – в місцях утворення каналів відбувалося «пірнання»

ланцюгових зондів (рис. 3, в), що спотворювало інформацію про рівень засипу. При підвищеному тиску подібне явище не спостерігалось (рис. 3, г).

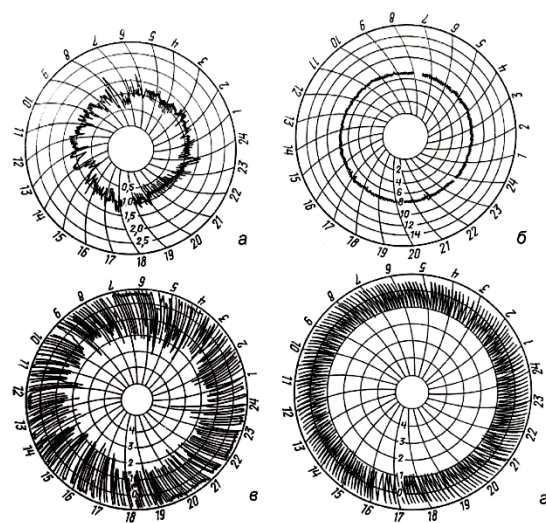


Рис. 3 – Діаграми тиску газу на колошнику і рівня засипу шихти до (а, б) і після (в, г) переведення доменної печі НЛМЗ на підвищений надмірний тиск (80 кПа) за О.Н. Раммом: ціна ділення на діаграмі (б) 10 кПа

Підвищення тиску газу в робочому просторі печі і збагачення дуття киснем не можуть бути антагоністами, оскільки спрямовані на подолання негативних змін різної природи, що виникали в процесі удосконалення доменної плавки. Перший інтенсифікатор (ПТГ) виник, як протидія впливу факторів, що зменшували газопроникність стовпа шихти в цьому процесі. Другий інтенсифікатор (ЗДК) при виплавці переробного чавуну став необхідною складовою комбінованого дуття, перш за все для покращення газифікації додаткового палива у фурменному вогнищі.

Поєднання вдування природного газу зі збагаченням дуття киснем відкрило у свій час (1958-1991 рр.) широкі перспективи, як для використання природного газу, так і для застосування кисню в доменному виробництві. Оскільки природний газ і кисень впливають на більшу частину суттєво важливих параметрів доменного процесу в прямо протилежних напрямках, то їх сумісне застосування дозволяло навіть при дуже високих витратах того чи іншого підтримувати доменний процес в прийнятних до нормальної роботи межах. Практика показує, що і при повсюдному переході на вдування пиловугільного палива кисень не втратив значення в якості інтенсифікатора доменної плавки.

Щодо «шкідливості» тенденції зменшення діаметру повітряних фурм, висловленої в роботі Е.Г. Донскова зі співавторами (2013 р.). За даними відомого довідника (Ю.П. Волков та ін., 1986 р.) розраховували інтенсивність горіння коксу, що припадала на одну фурму в доменних цехах колишнього СРСР, що мали доменні печі різного об'єму (табл. 2).

Таблиця 2

Інтенсивність горіння коксу в розрахунку на одну повітряну фурму при роботі доменних печей в умовах планової економіки

Комбінат	Об'єм печі, м³	Фурми		Інтенсивність горіння коксу I_k/n , кг/м³·доб
		кількість n	діаметр, мм	
Криворіжсталь	2000	20	165	45,0
	2700	24	160	42,5
	5000	42	155	20,6*
Ждановський, надалі Маріупольський	2000	20	170	46,2
	2300	20	160	43,4
Карагандинський	1719	18	180	50,4
	3200	28	170	30,3
Череповецький	1033	16	160	72,0
	2000	20	150	52,9
	2700	24	145	41,5

* при роботі на всіх фурмах

Таблиця 3

Показники інтенсивності горіння коксу і газодуттєвого режиму роботи повітряних фурм доменних печей «Криворіжсталі» в умовах ринкової економіки, розраховані за даними [6]

№ печі	7	8	9
об'єм, м³	2000	2700	5000
$(R_r - L_{фв}^{*1})$, мм	3380	4000	5850
Інтенсивність горіння коксу, кг/м³·доб			
на піч	766	652	618
на фурму	38	27	15
Витрата дуття, м³/хв			
на піч	3200	3940	6328
на фурму	160	164	158*²
Питома степінь стис- нення $\epsilon \cdot 10^2$	6,4	5,3	3,6
Надмірний тиск газу на колошнику, кПа	121	123	131
Перепад тисків кільцева труба - колошник	121	122	151

*¹ Довжину фурменного вогнища від торця фурми в напрямку центру горна прийнято 1,5 м

*² Розрахунок на 40 працюючих фурм

Зменшення діаметру повітряних фурм при збільшенні корисного об'єму печей є обґрунтованим вимушеним заходом збереження активної роботи горна при збільшенні різниці між радіусом горна R_r і довжиною фурменного вогнища $L_{фв}$. Не зважаючи на зменшення діаметру фурм технологи намагаються зберегти витрату дуття крізь фурму, аби не втратити протяжність вогнища. Для прикладу використано дані про роботу печей «Криворіжсталі» в умовах ринкової економіки і низькій інтенсивності плавки за коксом [6].

Результати розрахунку представлені в табл. 3.

Незважаючи на підтримання витрати дуття на фурму приблизно в однакових межах на всіх печах інтенсивність горіння коксу, розрахована на одну фурму, знизилась від ДП №7 до ДП №9 більше ніж у два рази. Обумовлено це, перш за все, зниженням питомої степені стиснення дуття зі зростанням об'єму печей. Так показник $\epsilon \cdot 10^2$ знизився з 6,4 для ДП №7 до 3,6 для ДП №9. Тобто визначальним фактором інтенсифікації

горіння перед фурмами є питома степінь стиснення дуття, яка залежить від тиску газу на колошнику і перепаду тисків в стовпі шихти. Все це вказує на те, що якість атмосферного чи збагаченого киснем дуття за питомим стисненням залежна від потужності доменного компресору, але аж ніяк не від збільшення сумарного перетину повітряних фурм, про що стверджують Е.Г. Донсков зі співавторами (2013 р.).

Висновки

На практичних прикладах показана помилковість суджень про недоцільність використання підвищеного тиску газів і збагачення дуття киснем в якості інтенсифікаторів доменної плавки. Помилковість суджень обумовлена некоректним співставленням роботи печей різного об'єму, що працювали у різко відмінних сировинних та експлуатаційних умовах.

Розглянуто аргументи на користь застосування підвищеного тиску газу для подолання зростаючого опору стовпа шихти включно з опором фурменної зони, обумовлені зміною частки коксу в об'ємі шихти, змінами висоти печей і параметрів повітряних фурм.

На прикладі двох доменних печей одного підприємства, об'єм яких відрізнявся майже у два рази, показано, що зі збільшенням корисного об'єму печі значення підвищеного тиску газу як засобу підвищення інтенсивності плавки зростає в порівнянні з агрегатами меншої потужності.

Підвищення тиску газу в робочому просторі печей і збагачення дуття киснем не є антагоністами, оскільки виконують різні функції. Перший інтенсифікатор використовують, перш за все, як протидію неминучого зростання опору стовпа шихти в доменній печі в результаті збільшення її розмірів, а також тих чи інших удосконалень технології. Другий інтенсифікатор, а саме додатковий кисень в дутті, спрямований головним чином на інтенсифікацію горіння додаткового палива, масове застосування якого без комбінації з киснем неможливе.

Перелік використаних джерел

- [1] Донсков Е.Г., Донсков Д.Е. К вопросу об интенсификации плавки при повышении давления газов на колошнике. *Производство чугуна на рубеже*

столетий : труды V Международного конгресса доменщиков, Днепропетровск-Кривой Рог, 7-12 июня 1999 г. Днепропетровск: «Пороги», 1999. С. 208-211.

- [2] Доменная плавка под давлением, мифы и реальность / Донсков Е.Г., Лялюк В.П., Донсков А.Д., Кассим Д.А. *Вісник Криворізького національного університету*. 2012. Вип. 33. С. 80-85.
- [3] Эффективность использования интенсификаторов доменной плавки в предшествующие годы и на современном этапе / Донсков Е.Г., Лялюк В.П., Донсков А.Д., Кассим Д.А. *Вісник Криворізького національного університету*. 2012. Вип. 33. С. 100-105.
- [4] Лялюк В.П. Теория і технологія доменної плавки: навчальний посібник. Кривий Ріг: Видавець ФОП Чернявський Д.О., 2020. 516 с.
- [5] Крячко Г.Ю., Сігарьов Є.М. Робота доменних компресорів і фурменної зони доменних печей: монографія. Кам'янське: ДДТУ, 2024. 256 с.
- [6] Шеремет В.А. Развитие доменного производства Криворожского государственного горно-металлургического комбината «Криворожсталь». *Теория и практика производства чугуна*: сб. тр. Междунар. научно-техн. конф., г. Кривой Рог, 24-27 мая 2004 г. КГТМК «Криворожсталь», 2004. С. 3-12.

PRESSURE BLAST MELTING AND BLOW ENRICHMENT WITH OXYGEN – PROCESS INTENSIFIERS OR AN UNFOUNDED TRIBUTE TO TRADITIONS

Kryachko G.Yu.

PhD (Engineering), associate professor, Dniprovsky State Technical University, Kamianske, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8773-508X>, e-mail: nauka_m4m@ukr.net;

Sigarev Ye.M.

D.Sc. (Engineering), professor, Dniprovsky State Technical University, Kamianske, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8229-7877>, e-mail: en_sigarev@ua.fm

The fallacy of existing statements about the unfounded expediency of using increased gas pressure in the working space of blast furnaces and enriching the blast with oxygen as intensifiers of the blast furnace process is shown, due to the incorrect comparison of the operation of furnaces of different volumes, which operated under sharply different raw material and operating conditions. Using the example of two blast furnaces of the same enterprise, the volume of which differed by almost two times, it is shown that with an increase in the useful volume of the furnace, the value of increased gas pressure as a means of intensification of melting increases in comparison with units of lower capacity. The main reasons for the increase in the resistance of the charge column are given, which are associated with both a decrease in the volume fraction of coke in the "dry" zone of the furnace and a thinning of the coke "windows" in the cohesion zone with a decrease in the volume fraction of coke, an overestimation of the working height of blast furnaces of Soviet designs, and the need to create powerful tuyeres for the redistribution of tuyeres gas to the centre of the furnace with an increase in the power of the units. It is precisely to overcome the effects of negative factors in order to intensify blast melting that pressure blast furnace melting is widely used. The data obtained from the research results not only indicate the effectiveness of using increased gas pressure, but also indicate its differentiated effect on the intensity of melting in furnaces of different volumes. According to the results of the study, without involving an increase in gas pressure on the top as an intensifier of blast furnace melting, forcing the furnace stroke by blowing can be carried out only by increasing the unevenness of the radial gas distribution with excess coke consumption. It is shown that increasing the gas pressure in the working space of the furnaces and enriching the blow with oxygen are not antagonists, since they are aimed at overcoming negative changes of various nature that arose in the process of improving blast furnace melting.

Keywords: blast furnaces, intensifiers, gas pressure, resistance, enrichment, oxygen, blowing, forcing.

References

- [1] E.G. Donskov, and D.E. Donskov, «K voprosu ob intensifikatsii plavki pri povyshenii davleniya gazov na koloshnike» [«Regarding the intensification of melting when the pressure of gases on the furnace is increased»], in Proc. of the V Int. Congress of Blast Furnace Workers «Iron production at the turn of the century», Dnipropetrovsk-Kyiv Rih, 1999, pp. 208-211. (Rus).
- [2] E.G. Donskov, V.P. Lyaluk, A.D. Donskov, and D.A. Kassim, «Domennaya plavka pod davleniyem, mify i real'nost'» [«Blast furnace melting under pressure, myths and reality»], *Visnyk Kryvorizkoho natsionalnoho universytetu – Journal of Kryvyi Rih National University*, vol. 33, pp. 80-85, 2012. (Rus).
- [3] E.G. Donskov, V.P. Lyaluk, A.D. Donskov, and D.A. Kassim, «Effektivnost' ispol'zovaniya intensifikatorov domЕННОY plavki v predshestvuyushchiye gody i na sovremennom etape» [«Effectiveness of blast furnace smelting intensifiers in previous years and at the present stage»], *Visnyk Kryvorizkoho natsionalnoho universytetu – Journal of Kryvyi Rih National University*, vol. 33, pp. 100-105, 2012. (Rus).
- [4] V.P. Lyaluk, *Teoriya i tekhnolohiya domЕННОY plavky: navchal'nyy posibnyk* [Theory and technology of blast furnace smelting: a textbook]. Kyiv Rih, Ukraine: FOP Chernyavsky D.O. Publ., 2020. (Ukr.).
- [5] G.Yu. Kryachko, and Ye.M. Sigarev, *Robota domennykh kompresoriv i furmennoy zony domennykh pechey: monohrafiya* [Operation of blast furnace compressors and tuyeres of blast furnaces: monograph]. Kamianske, Ukraine: DSTU Publ., 2024. (Ukr.).
- [6] V.A. Sheremet, «Razvitiye domennogo proizvodstva Krivorozhskogo gosudarstvennogo gorno-metallurgicheskogo kombinata «Krivorozhstal'» [«Development of the blast furnace production of the Kryvorozh State Mining and Metallurgical Combine «Krivorozhstal'»], in Proc. of the Int. sci.-pract. conf. «Theory and practice of cast iron production», Kyiv Rih, 2004, pp. 3-12. (Rus).

Стаття надійшла 26.03.2025

Стаття прийнята 05.05.2025

Стаття опублікована 30.06.2025

Цитуйте цю статтю як: Крячко Г.Ю., Сігарьов Є.М. Доменна плавка під тиском і збагачення дуття киснем – інтенсифікатори процесу чи необґрунтована данина традиціям. *Вісник Приазовського державного технічного університету. Серія: Технічні науки.* 2025. Вип. 50. С. 117-124. DOI: <https://doi.org/10.31498/2225-6733.50.2025.336315>.