



УДК 614.84

ENHANCING TECHNOGENIC SAFETY IN METALLURGICAL PRODUCTION THROUGH OPTIMIZATION OF ASPIRATION SYSTEMS

ПІДВИЩЕННЯ ТЕХНОГЕННОЇ БЕЗПЕКИ МЕТАЛУРГІЙНИХ ВИРОБНИЦТВ ШЛЯХОМ ОПТИМІЗАЦІЇ РОБОТИ АСПІРАЦІЙНИХ СИСТЕМ

Rumiantsev V.R. / Румянцев В.Р.*c.t.s., as.prof. / к.т.н., доц.*

ORCID: 0000-0002-4404-3454

Sharapova T.A. / Шарапова Т.А.*c.t.s., as.prof. / к.т.н., доц.*

ORCID: 0000-0002-9868-5428

Gridiaiev V.V. / Грідяєв В.В.*PhD, ded. t. / PhD, доц., ст. викл.*

ORCID: 0000-0001-7767-4490

Karpenko H.V. / Карпенко Г.В.*c.t.s., as.prof. / к.т.н., доц.*

ORCID: 0000-0003-3504-0283

*Zaporizhzhia National University, Zaporizhzhia, Sobornyi Ave, 226, 65029**Запорізький національний університет, м. Запоріжжя, пр. Соборний 226, 69600*

Анотація. У роботі розглянуто технологічний процес конверторного отримання сталі з точки зору оптимізації роботи аспіраційних систем для покращення умов праці робітників. Висвітлено технологічні особливості процесу, визначені операції найбільш забруднюючі повітря робочої зони конверторної плавки. Базуючись на отриманих результатах запропонована технологія видалення та обробки відхідних газів конвертерного виробництва дозволяє зробити технологічний процес більш безпечним, що покращує умови праці робітників.

Ключові слова: отримання сталі, аспірація, умови праці, продувка, димотяг.

Для визначення складу і кількості можливих газоподібних викидів доцільно розглянути особливості технології процесу. Процес включає кілька послідовних етапів [1, 2]:

1. Шихтування плавки та організація завантаження. Шихтування, тобто визначення витрати на плавку чавуну і брухту, шлакоутворювальних, феросплавів та інших матеріалів, в сучасних цехах проводять за допомогою комп'ютерної програми (АСУ ТП) на підставі даних про склад чавуну та інших шихтових матеріалів; температуру чавуну, параметри виплавленої сталі. На підставі розрахунку теплового балансу плавки визначається витрата брухту, який не тільки визначає склад майбутньої сталі, але й охолоджує плавку при необхідності. Збільшуючи або зменшуючи витрати брухту можна отримати задану температуру металу в кінці продувки, а змінюючи витрату вапна



забезпечується необхідна основність шлаку (2,7-3,6).

2. Лом завантажують в конвертер совками об'ємом 20-110 м³; їх заповнюють ломом в шихтовому відділенні цеху і доставляють до конвертерів рейковими візками. Завантаження ведуть (рис. 1, а) через отвір горловини конвертера, перекидаючи совок 3 за допомогою напівпортальної машини 2, або мостового крана, або підлоги (переміщується по робочому майданчику цеху) машини. Завантаження триває 2-4 хв. Іноді з метою прискорення шлакоутворення після завантаження брукху або перед ним в конвертер вводять частину вапна, що витрачається на плавку.

Конвертер при завантаженні нахилений приблизно на 45° з тим, щоб шматки брукху, що завантажуються ковзали по футерівці, а не падали б зверху, руйнуючи її. При цьому частково стирається футерування і виділяється пил, який видаляється за допомогою зонта газовідводу 1.

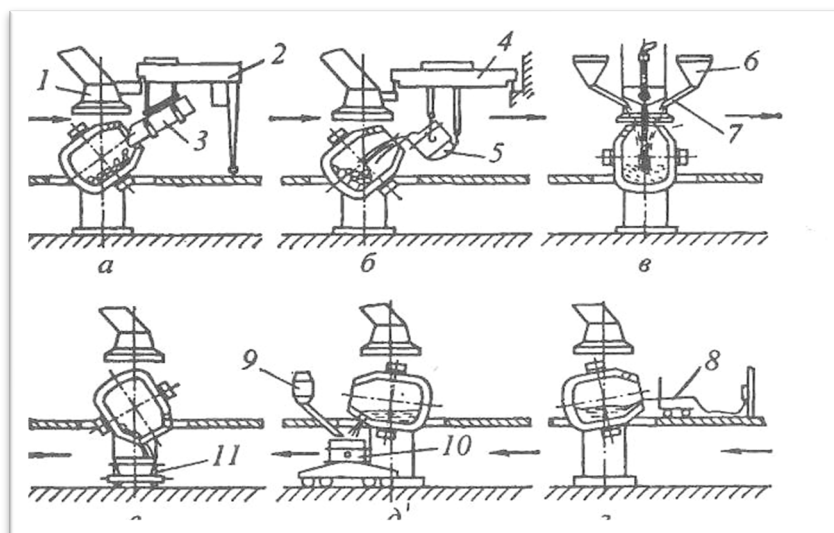
3. Рідкий чавун заливають (рис. 1, б) в нахилений конвертер через отвір горловини за допомогою мостового крана 4 з заливного ковша 5, який зазвичай вміщує всю порцію заливного чавуну (до 300 т й більше). Заливка відбувається при температурі чавуну від 1300 до 1450 °С протягом 2-3 хв. Заливальні ковші з чавуном доставляють до конвертерів з міксерного або переливного відділень. Під час заливки виділяється гаряче повітря з пилом, який також необхідно вловлювати для уникнення забруднення робочої зони.

4. Ще більше виділень відбувається при завантаженні в конвертер сипучих шлакоутворюючих матеріалів, яке проводиться з бункерів 6 за допомогою індивідуальної автоматизованої системи.

5. Найбільш інтенсивно відбувається газоутворення і виділення в процесі продувки. Після заливки чавуну конвертер повертають у вертикальне робоче положення, вводять зверху фурму і включають подачу кисню, починаючи продування (рис. 1, в). Фурму на початку продувки для прискорення шлакоутворення встановлюють у верхньому положенні (на відстані до 4,8 м від рівня ванни в спокійному стані), а через 2-4 хв її опускають до оптимального рівня (1,0-2,5 м залежно від місткості конвертера та особливостей технології).



Протягом першої третини тривалості продувки в конвертер двома-трьома порціями завантажують вапно з бункера 9; разом з першою порцією вапна, що вводиться після початку продувки, додають плави́ковий шпат, іноді інші флюси (залізнa руду, окатки, боксит та ін.). Витрату вапна розраховують так, щоб шлак виходив з основністю від 2,7 до 3,6. Зазвичай витрата вапна становить 6-8% від маси сталі.



а - завантаження брухту, б - заливка чавуну, в - початок продувки, г - вимір температури, д - злив металу, е - злив шлаку

Рисунок 1 - Технологічні операції конвертерної плавки

Джерело: [3]

Продування триває 12-18 хв до отримання заданого вмісту вуглецю в металі. Тривалість продувки залежить від дієвої в цеху інтенсивності подачі кисню, зазвичай $2,5-5 \text{ м}^3 / (\text{т} \cdot \text{хв})$.

Протягом продувки протікають наступні основні металургійні процеси, утворюючи шкідливі газоподібні виділення підвищеної температури:

а) окислення складових рідкого металу киснем, що вдувається; окислюється надлишковий вуглець, а також весь кремній, близько 70% марганцю і трохи (1-2%) заліза. Газоподібні продукти окислення вуглецю (CO і не багато CO_2) видаляються з конвертера через горловину (відходять конвертерні гази), інші оксиди переходять в шлак;



б) шлакоутворення з продуктів окислення складових металу (SiO_2 , MnO , FeO , Fe_2O_3) і вапна, що в них розчиняється (CaO), а також з оксидів, що вносяться міксерним шлаком, іржею сталевого брухту і футерівкою, що розчиняється. Основність шлаку по ходу продувки зростає в міру розчинення вапна, досягаючи 2,7-3,6;

в) дефосфорація і десульфуратія забезпечує видалення частини шкідливих домішок шихти - до 90% фосфору і до 30% сірки;

г) нагрівання і розплавлення металу до необхідної перед випуском температури (1600 – 1660 °C) забезпечується теплом, що виділяється при протіканні екзотермічних реакцій окислення складових рідкого металу. Температура контролюється введенням термопар 8 (рис.1, г);

д) побічний і небажаний процес випаровування заліза в підфурменній зоні через високі температури (2000-2600 °C) і винесення окислювальних парів, що відходять з конвертера з газами, що в свою чергу викликає втрати заліза і забруднює конвертерні гази пилом [3, 4].

6. Виділення газу і тепла відбувається частково при відборі проб, вимірах температури коригування процесу. Продувку закінчують, коли вуглець окислюється до потрібного вмісту згідно марки сталі, що виплавляється. До цього часу метал повинен нагрітися до необхідної температури, а фосфор і сірка видалені до допустимих меж.

7. Випуск металу проводиться в сталерозливний ківш 10 через річку без шлаку; це досягається завдяки тому, що в нахиленому конвертері (рис. 8.7, д) у лютки розташовується більш важкий метал, який перешкоджає потраплянню до неї шлаку, який знаходиться зверху. Такий випуск виключає перемішування металу зі шлаком в ковші та перехід зі шлаку в метал фосфору та FeO . Випуск триває 3-7 хв.

8. Випуск шлаку проводиться в шлаковий ківш 11 (рис. 1, е).

У процесі випуску сталі в ківш з бункерів 9 вводять феросплави для розкислення і легування сталі. В кінці випуску в ківш потрапляє трохи (1-2%) шлаку, який оберігає метал від швидкого охолодження. Для проведення



позапічної обробки металу, в ківш вводять сплави, які містять елементи, що слабо окислюються (*Mn*, *Cr* і іноді *Si*), після чого ківш транспортують на установку позапічної обробки, де в процесі вони усереднюються продуванням аргоном. Вводять також елементи, що володіють високою спорідненістю до кисню (*Si*, *Al*, *Ti*, *Ca* та ін.), що зменшує їх чад. В цьому випадку в момент зливу з конвертера останніх порцій металу роблять "відсічення" шлаку, перешкоджаючи його потраплянню в ківш. Конвертерний шлак містить фосфор, який може переходити в метал. Оксиди заліза, які будуть окислять вводяться в метал в процесі позапічної обробки. У ковші для захисту металу від охолодження та окислення створюють шлаковий покрив, завантажуючи, наприклад, гранульований доменний шлак, вермикуліт, вапно і плавиковий шпат.

Практично всі етапи технологічного процесу, включаючи завантаження металобрухту, рідкого чавуну, сипучих шлакоутворювальних, продування і випуск металу і шлаку, супроводжуються інтенсивним виділенням пилу і нагрітих газів. Для їх аспірації застосовуються різні системи укриття і витяжки. Їх розрахунок залежить від обсягу виділених газів в одиницю часу, який пов'язаний безпосередньо з особливостями прийнятої на підприємствах технології плавки.

Така технологія застосовується в разі недостатнього для споживача ступеня очищення вихідних газів від пилу і виключення забруднення атмосфери вуглекислим газом [7].

Для цього між горловиною конвертера і кесоном котла - утилізатора встановлюється проріз, через який відсмоктується повітря в кількості, достатній для повного згоряння газу, що видаляється. Температура конвертерних газів підіймається до 2000 °С, тому газ проходить через котел утилізатор, де отримують гарячу воду і пар. Перед очищенням від пилу температура газу знижується до 300 °С (рис. 2).

Потужність витяжного вентилятора (димотяга):

$$N_{\text{де}} = m \rho Q g H / 1000 \eta; \quad (1)$$

де, m - коефіцієнт запасу, $m = 1,05-1,2$, причому m збільшується зі зростанням



потужності приводу; ρ - щільність забрудненого газу, кг/м^3 ; Q - продуктивність насоса, $\text{м}^3/\text{год}$; g - прискорення, м/с^2 ; η – коефіцієнт корисної дії (ККД) приводу і насоса.

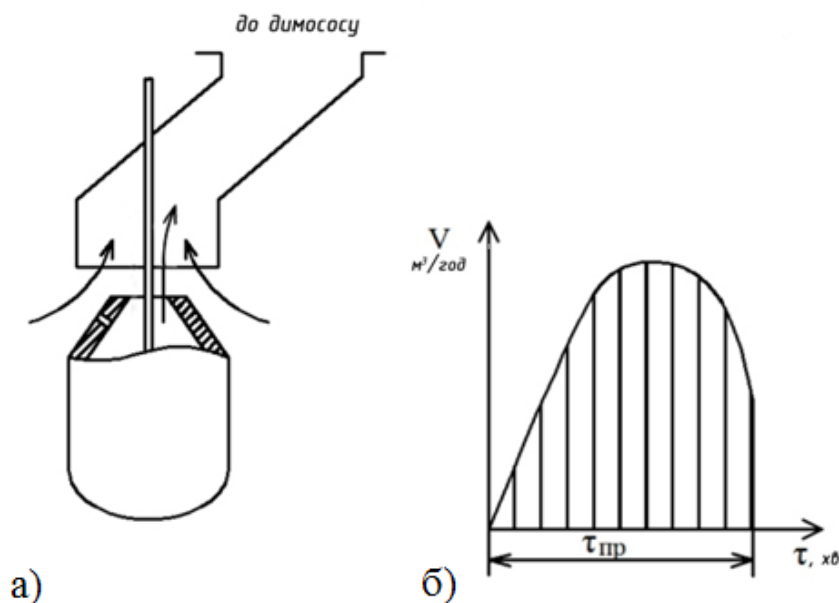


Рисунок 2 - Принципова схема конвертера з повним допалюванням вихідних газів

Джерело: [3]

При розрахунку продуктивність насоса вибирається з урахуванням збільшення об'єму газів внаслідок надходження повітря і реакції горіння. Для зручності розрахунків можна використовувати графік (рис.2, б) і приймати усереднене значення об'єму V .

Зменшення тепломісткості газів внаслідок зниження температури відповідає кількості теплоти, використаної для вироблення пари в охолоджувачі конвертерних газів (ОКГ). Випаровування води, яка поступає з барабана через колектор і циркуляційні насоси в випарні поверхні нагрівання, відбувається одночасно в радіаційних випарних поверхнях нагріву (екранах) і у двох конвективних випарних секціях. Пароперегрівач відсутній, тому споживачам видається тільки насичена пара. При тиску одержуваної пари, наприклад, 4МПа, температура води в процесі пароутворення проходить такі зміни: в економайзері температура живильної води зростає від 100 °С (при атмосферній деаерації) до



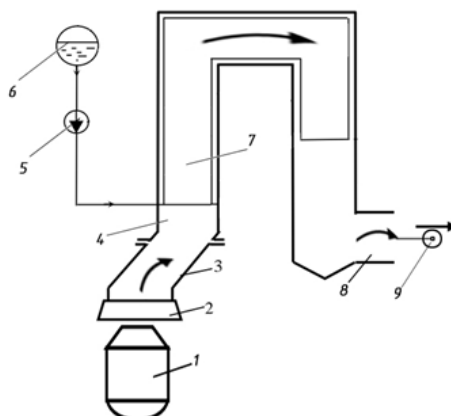
температури насичення при вказаному тиску (250°C), а пара, що надходить з барабана до споживача, має відповідно температуру насичення (250°C). Вироблення пари в ОКГ відбувається періодично, відповідно до нерівномірності виходу конвертерного газу, що створює проблеми використання пари. Така періодичність виходу конвертерного газу виключає можливість перегріву пари. Складність експлуатації таких ОКГ створюють також конвективні поверхні нагрівання, які забиваються пилом, що призводить до додаткових газодинамічних опорів в тракті. Забруднення поверхонь нагріву пилом знижує тепловіддачу від газів до води та зменшує ефективність поверхонь нагріву. У зв'язку з цим, при відведенні газу з конвертера без допалювання, тобто коли використовується тільки фізична теплота газу, яка не перевищує 20% від загальної енергії газу, конвективні поверхні нагрівання в ОКГ не встановлюють. Принципова схема радіаційного ОКГ без конвективних поверхонь представлена на рисунку 3. Проблема періодичності вироблення пари тут вирішується шляхом акумуляції пари в тепловому акумуляторі. Схема використання пари в цьому випадку передбачає наступні стадії його перетворення:

- а) періодична зарядка акумулятора парою 4МПа, що виходить з барабана котла в час виходу конвертерного газу, тобто в період генерації пари;
- б) безперервна видача пари з теплового акумулятора в пароперетворювачі, яка досягається шляхом дроселювання пари з 4МПа до 2МПа;
- в) випаровування дросельованою парою 2МПа в пароперетворювачі живильної води тиском 1,2 МПа. В результаті виходить насичена пара 1,2 МПа, яка направляється до споживача. При необхідності стабілізації витрати пари, що надходить до споживача, подається додатковий стабілізувальний потік пари від стороннього джерела;
- г) конденсат використаної в пароперетворювачі пари ОКГ після деаерації направляється в барабан котла як живильна вода.

Технологія плавки без допалювання вихідних газів. Наявність укриття горловини конвертера (рис. 3) дозволяє виключити контакт горючого газу з повітрям і зменшити об'єм вихідних газів та відповідно потужність димотягів



[5].



1 - конвертер; 2 - ущільнювач прорізу між горловиною конвертера і кесоном; 3 - кесон; 4 - газохід котла-утилізатора; 5- циркуляційний насос; 6-барабан-сепаратор; 7-радіаційні випарні поверхні; 8- газохід до газоочистки; 9-димотяг

Рисунок 3 - Принципова схема радіаційного ОКГ і теплова схема, що стабілізує вироблення пари

Джерело: [3]

При їх розрахунку необхідно враховувати експериментальні дані замірів об'єму V вихідних газів за годину на робочому конвертері (рис. 4). За допомогою аспірації виникає можливість зібрати й використати після очищення від пилу фізичну і теплову енергію конвертерного газу (СО) для підігрівання шихти, або як паливо в ТЕЦ.



Рисунок 4 - Дослідження характеру утворення забруднених газів в процесі продувки

Джерело: [3]



При установці за конвертерами котлів-утилізаторів обов'язкові димотяги. Для конвертерів місткістю 100 т продуктивність димотягів повинна досягати 400 000 м³/рік, при створенні тиску до 12 кН/м². Приводом для них служить електродвигун потужністю до 2000 кВт год. Кисень для продувки конвертерів надходить з кисневої мережі.

Висновок. Таким чином, запропонована технологія видалення та обробки відхідних газів конвертерного виробництва дозволяє зробити технологічний процес більш безпечним, що покращує умови праці робітників.

Література

1. Правила проектування аспіраційних установок підприємств по зберіганню та переробці зерна. Одеса - Київ, 1995. 130с.
2. Самойленко Н. М., Аверченко В. І., Байрачний В. Б. Системи технологій та промислова екологія. Частина 1. Металургійний та енергетичний комплекс: навч. посіб. Харків : НТУ «ХПІ», Лідер, 2020. 212с.
3. Воденніков С. А., Тарасов В. К., Воденнікова О. С. Конструкції агрегатів чорної металургії : навч. посіб. Запоріжжя : РВВ.
4. Вплив МОР на здоров'я людини і навколишнє середовище URL: https://oilcool.ru>vliyanie_sozh_na_cheloveka_i_okruzhayushchuyu_sredu.
5. Гапонюк О. І. Раціональні параметри аспіраційних систем. Зерно і хліб. 1997. №4.
6. Гічов Ю. О. Вторинні енергоресурси промислових підприємств. Частина II: конспект лекцій: Дніпропетровськ : НМетАУ, 2012. 54 с.
7. Фільтрація масляного туману і диму. Фільтрація масляних аерозолів. Nederman. URL: <https://www.nederman.com>.

Abstract. This paper examines the converter steelmaking process from the perspective of optimizing aspiration systems to improve working conditions for personnel. The technological features of the process are highlighted, and the operations that contribute most significantly to air pollution in the converter workspace are identified. Based on the findings, a proposed technology for the removal and treatment of off-gases from converter operations is presented. This approach enhances the safety of the steelmaking process and contributes to better working conditions for employees.



Key words: *steelmaking, aspiration, working conditions, blowing, flue gas extraction*

Науковий керівник: к.т.н., доц. Румянцев В.Р.

Статтю надіслано: 12.08.2025 г.

© Румянцев В.Р.