МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ІМ. Ю.М.ПОТЕБНІ

Металургійних технологій, екології та техногенної безпеки
(повна назва кафедри)

Кваліфікаційна робота / проєкт

другий (магістерський)
(рівень вищої освіти)

на тему **Дослідження основних методів по зниженню ресурсо- і енерговитрат при виплавці електросталі**

Виконав: студент II курсу, групи 8.1363-мчм
спеціальності 136 Металургія
(код і назва спеціальності)
освітньої програми Металургія чорних металів
(код і назва освітньої програми)
спеціалізації _____
(код і назва спеціалізації)
Є.В.Зубенко
(ініціали та прізвище)
Керівник доц., к.т.н., доц. Воляр Р.М.
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)
Рецензент доц., к.т.н., доц. Кириченко О.Г.
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Запоріжжя
2024

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Кафедра____Металургійних технологій, екології та техногенної безпеки__

Рівень вищої освіти____другий (магістерський)_____

Спеціальність _____136 Металургія_____
(код та назва)

Освітня програма _____Металургія чорних металів_____
(код та назва)

Спеціалізація _____
(код та назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри_____
«_____»_____20____року

З А В Д А Н Н Я

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ/ПРОЄКТ СТУДЕНТОВІ (СТУДЕНТЦІ)
_____Зубенку Євгенію Вікторовичу_____
(прізвище, ім'я, по батькові)

1 Тема роботи (проєкту) Дослідження основних методів по зниженню ресурсо- і енерговитрат при виплавці електросталі _____
_____
керівник роботи _____Воляр Роман Миколайович, к.т.н., доц._____
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом ЗНУ від «28»_лютого 2024___року №359-с_____
2 Строк подання студентом роботи _____10.12.2024_____
3 Вихідні дані до роботи __Дослідити технологічні можливості по зниженню ресурсо- та енерговитрат при виробництві електросталі_____
_____
4 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)
Реферат; вступ; Аналіз сучасних засобів зниження ресурсо- та енерговитрат при виробництві електросталі; Дослідження основних методів по зниженню ресурсо- і енерговитрат при виплавці вітчизняної електросталі; Основні напрями подальшого вдосконалення електросталеплавильного виробництва за рахунок зниження ресурсо- та енерговитрат; Охорона праці та техногенна безпека; Висновки; Перелік джерел посилання; Додаток А_____
5 Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)__12__креслень_____

6 Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Аналіз сучасних засобів зниження ресурсо- та енерговитрат при виробництві електросталі	Воляр Р.М., доцент		
Дослідження основних методів по зниженню ресурсо- і енерговитрат при виплавці вітчизняної електросталі	Воляр Р.М., доцент		
Основні напрями подальшого вдосконалення електросталеплавильного виробництва за рахунок зниження ресурсо- та енерговитрат	Воляр Р.М., доцент		
Охорона праці та техногенна безпека	Воляр Р.М., доцент		

7 Дата видачі завдання_____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Вступ, реферат	21.11-25.11.2024	
2	Аналіз сучасних засобів зниження ресурсо- та енерговитрат при виробництві електросталі	26.11-30.11.2024	
3	Дослідження основних методів по зниженню ресурсо- і енерговитрат при виплавці вітчизняної електросталі	01.12-04.12.2024	
4	Основні напрями подальшого вдосконалення електросталеплавильного виробництва за рахунок зниження ресурсо- та енерговитрат	05.12-08.12.2024	
5	Охорона праці та техногенна безпека	09.12-10.12.2024	
6	Висновки, перелік джерел посилання	10.12.2024	

Студент _____ _____Є.В.Зубенко_____
(підпис) (ініціали та прізвище)

Керівник роботи (проекту) _____ _____Р.М.Воляр_____
(підпис) (ініціали та прізвище)

Нормоконтроль пройдено

Нормоконтролер _____ _____О.Г.Кириченко___
(підпис) (ініціали та прізвище)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 76 с., 8 табл., 14 рис., 1 дод., 26 джерел

ЕЛЕКТРОСТАЛЬ, МЕТАЛОБРУХТ, ОКАТИШІ, ШИХТА, ШЛАК, ЕНЕРГОВИТРАТИ, ПОРОШКИ, ПАЛЬНИКИ, ДОННИЙ ВИПУСК

Об'єкт дослідження – процес зниження енерго- та ресурсовитрат при виробництві сталі в електродугових печах.

Предмет дослідження – розробка методів по зниженню ресурсо- і енерговиртат при виплавці вітчизняної сталі.

Мета роботи – проаналізувати та запропоновувати заходи щодо зниження ресурсо- та енерговитрат при виробництві якісної електросталі.

Наукова новизна:

1. Встановлено ряд технологічних процесів, які дозволяють істотно інтенсифікувати їх роботу, скоротити питому витрату електроенергії і одночасно забезпечити високу якість металу.

Практичне значення:

1. Запропоновані способи зниження ресурсо- та енерговитрат при виробництві якісної електросталі.

У вступі обґрунтований обраний напрям досліджень, визначені мета та шляхи його досягнення.

У розділі 1 виконаний аналіз засобів зниження ресурсо- та енерговитрат при виробництві електросталі.

У розділі 2 проведено дослідження основних методів по зниженню ресурсо- і енерговитрат при виплавці вітчизняної електросталі

У розділі 3 досліджені основні напрями подальшого вдосконалення електросталеплавильного виробництва за рахунок зниження ресурсо- та енерговитрат.

У розділі 4 розглянуто основні шкідливі фактори при роботі у електросталеплавильному цеху.

Розроблені методи рекомендується для дослідно-промислових випробувань в електросталеплавильних цехах України.

ЗМІСТ

Вступ 8
1 Аналіз сучасних засобів зниження ресурсо- та енерговитрат при виробництві електросталі. 10
1.1 Шредерна підготовка металобрухту 12
1.2 Плавка з використанням металізованих окатишів 13
1.3 Використання чавуну в якості шихти 14
1.4 Спінювання шлаку. 17
1.5 Вживання кисню для інтенсифікації плавки в дуговій сталеплавильній печі. 18
1.6 Продування металевої ванни знизу.. 19
1.7 Вживання паливно-кисневих пальників. 22
1.8 Донний випуск сталі. 23
1.9 Захист електродів.. 27
Висновки 31
2 Дослідження основних методів по зниженню ресурсо- і енерговитрат при виплавці вітчизняної електросталі. 32
2.1 Визначення впливу переробки металобрухту на прес-ножицях на витрати при виробництві сталі. 32
2.2 Дослідження використання підігріву шихти для зниження ресурсо- та енерговитрат. 37
2.2.1 Шахтні печі 37
2.2.2 Порційний нагрів металобрухту в завантажувальних баддях 40
2.3 Визначення впливу продувки металу порошками в окислювальний і відновний періоди плавки на витрати при виробництві електросталі 42
Висновки 48
3 Основні напрями подальшого вдосконалення електросталеплавильного виробництва за рахунок зниження ресурсо- та енерговитрат 49
Висновки. 55

4 Охорона праці та техногенна безпека 56
4.1 Аналіз небезпечних та шкідливих факторів на ділянці електродугової печі 56
4.2 Заходи захисту від ураження електричним струмом 60
4.3 Розрахунок захисного заземлення на ділянці електродугової печі 62
Висновки 67
Перелік джерел посилання 68
Додаток А Публікації за темою кваліфікаційної роботи 71

ВСТУП

Електрометалургія - галузь техніки, що займається відновленням металів з їхніх окислів, і одержанням сталі та сплавів різного складу з використанням електричної енергії як джерела тепла.

Переваги електрометалургії:

1. Концентрація енергії в невеликих об'ємах і, отже, здобуття високих температур, які не можуть бути досягнуті іншим шляхом;
2. Забезпечення необхідного розподілу тепла в невеликих об'ємах, що дозволяє нагрівати крупні маси виробів або матеріалів з великою точністю і рівномірністю;
3. Управління виділенням тепловій енергії, що дозволяє регулювати хід технологічного процесу і легко автоматизувати його;
4. Можливість роботи у вакуумі або захисній атмосфері [1];
5. Можливість виплавки практично будь-яких високолегованих сталей і сплавів;
6. Відрізняється гнучкістю у використанні різних видів металошихти;
7. Можливість виплавки високоякісних сталей з низькою кількістю домішок (сірки, фосфору та вуглецю);
8. Можливість забезпечення екологічної чистоти виробництва.

Можливість концентрованого введення великої кількості теплової енергії у поєднанні з простотою регулювання потужності, що підводиться, є безперечною перевагою дугової сталеплавильної печі в порівнянні з іншими агрегатами для виробництва сталі.

Прогрес в розвитку електротехніки, машинобудування, виробництва вогнетривів і електродів, поява водоохолоджуючих панелей стін і зведення дозволили інтенсифікувати плавку сталі в результаті широкого вживання надпотужних дугових печей і розробленої для них сучасної технології

плавки з використанням альтернативних джерел енергії. Показники електроплавлення сталі продовжують покращуватися.

Проте як і раніше залишаються актуальними проблеми максимального збільшення продуктивності дугових печей при порівняно невеликих витратах на виробництво електросталі.

Тому основною метою даної роботи є проаналізувати та запропоновувати заходи щодо зниження ресурсо- та енерговитрат при виробництві якісної електросталі.

1 АНАЛІЗ СУЧАСНИХ ЗАСОБІВ ЗНИЖЕННЯ РЕСУРСО- ТА ЕНЕРГОВИТРАТ ПРИ ВИРОБНИЦТВІ ЕЛЕКТРОСТАЛІ

В даний час однією з основних тенденцій розвитку металургії є випереджаючий розвиток електропічного способу виробництва сталі.

Електросталеплавильне виробництво - це здобуття якісних і високоякісних сталей в електричних печах, що володіють істотними перевагами в порівнянні з іншими сталеплавильними агрегатами, тому останнім часом електрометалургія стає все більш розвиненою гілкою металургії. Хоча велика витрата енергії і збільшує вартість металу, але вигоди від підвищення його якості перекривають все. Зниження матеріало- і енергоємності продукції є найважливішими завданнями будь-якого виробництва. Варіанти конструктивного виконання електропечей представлені на рис. 1.1.

Серед сучасних способів направлених на вирішення проблем економії ресурсів та електроенергії можна виділити наступні:

1. Попередній підігрів шихти;
2. Переробка металобрухту на прес-ножицях;
3. Шредерна підготовка металобрухту;
4. Використання металізованих окатишів;
5. Спінювання шлаку;
6. Продувка киснем;
7. Продувка металевої ванни знизу;
8. Використання чавуну в якості шихти;
9. Продування металу порошками в окислювальний і відновний періоди плавки;
10. Вживання паливно-кисневих пальників;
11. Донний випуск сталі;
12. Захист електродів.

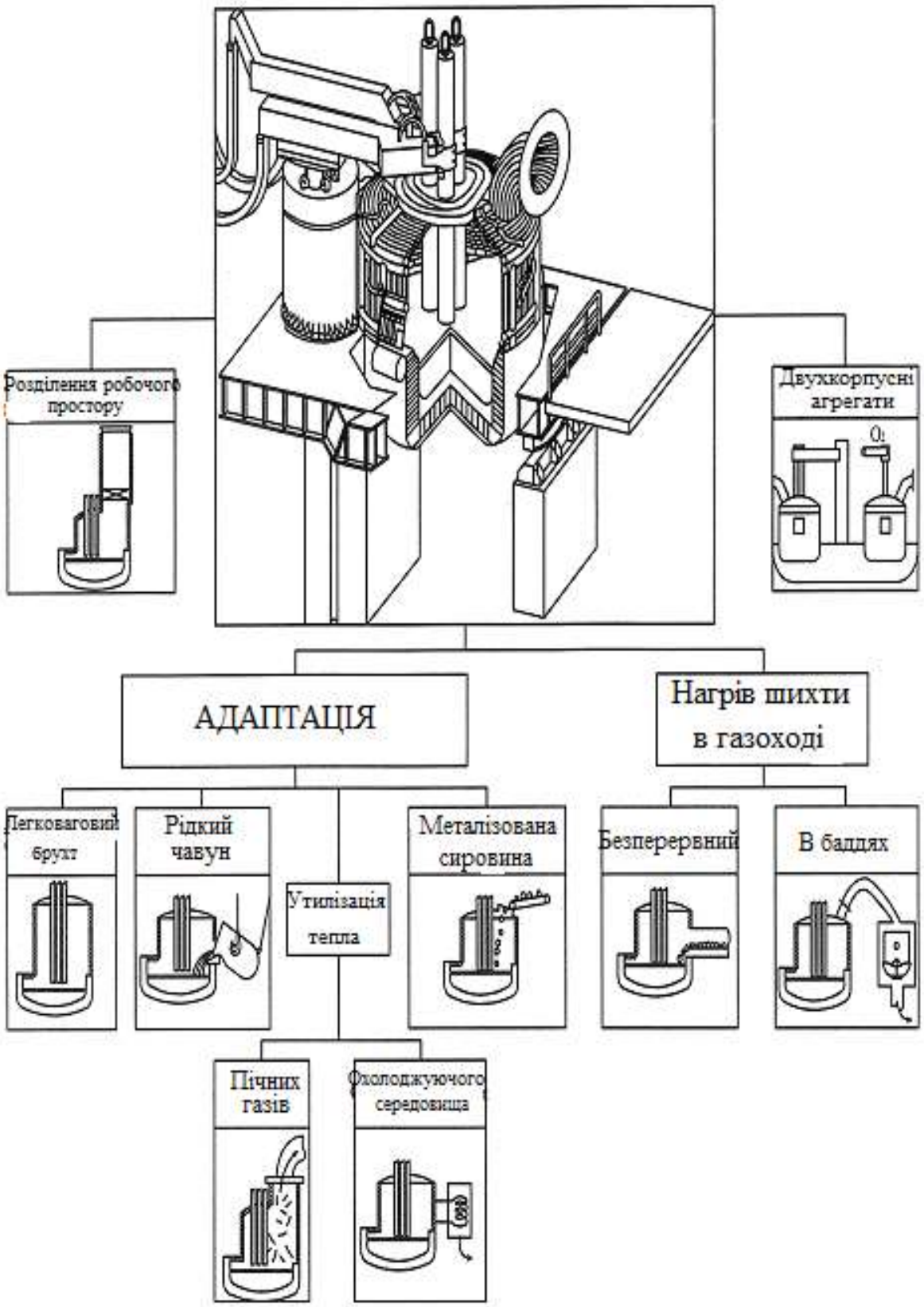


Рисунок 1.1 - Варіанти конструктивного виконання електропечей

1.1 Шредерна підготовка металобрухту

Для енерго- і ресурсозбереження дуже важливою є підготовка сталевого брухту для подачі в електропіч.

Сьогодні в світі використовують чотири основні способи переробки брухту: шредирування (тобто подрібнення), пакетування, переробка на прес-ножицях і вогневе різання. Порівнюючи переваги і недоліки цих способів, можна відзначити, що брухт найбільш високої якості, готовий до використання в сталеплавильних агрегатах, можна отримати на шредерних установках (молоткові дробилки «Shredder») [2].

Дійсно, шредерні машини кардинально вирішують проблеми підготовки металевого брухту, оскільки вони автоматизують механічне подрібнення матеріалу і подальше сортування на такі складові, як кольоровий і чорний метали, гуму, пластик, стекло і ін., усуваючи безліч попередніх операцій (розпилювання, сортування металу від інших матеріалів, пресування). Використовуючи як сировину автомобілі, холодильники, пральні машини та інший побутовий тонкостінний брухт, на виході вони дають шредерний скрап, який по своїм якостям максимально відповідає вимогам електросталеплавильного виробництва.

Насипна щільність металобрухту при електросталеплавильному виробництві повинна забезпечувати функціональну ефективну роботу печей, металобрухт не повинен містити вибухонебезпечні предмети; шихти, яка не проводить струм; шкідливих домішок і так далі. Шредерний брухт характеризується пониженим вмістом сірки, кремнію і фосфору. При цьому, насипна щільність шредерного металобрухту вища, ніж звичайного, що робить його використання максимально ефективним при виплавці сталі в електродугових печах. Переробка сталевого брухту на шредері дозволяє прибрати до 5-7% домішок і відбиває всю іржу і грязь. Завдяки чому виходить подрібнений сталевий металобрухт практично з нульовим засором. Експерти відзначають, що в шихту можна додавати від 10 до 20%

такого брухту, що дозволить підвищити щільність заповнення печі металобрухтом, зменшити енергоємність процесу плавки як мінімум на 5%, скоротити її тривалість і поліпшити інші показники сталеплавильного процесу. Крім того, використання шредерного металобрухту знижує засміченість шихти і практично повністю виключає попадання шкідливих домішок, включаючи кольорові метали.

Збільшення загальної техніко-економічної ефективності плавки від вживання переробленого на шредерній установці металобрухту приблизно на 30%.

1.2 Плавка з використанням металізованих окатишів

Останніми роками розширюється використання при виплавці сталі в електропечах металізованих окатишів, тобто не повністю відновлених залізорудних окатишів, що отримуються методами прямого відновлення. Діаметр окатишів рівний 3–20 мм, їх основу складає залізо з вмістом вуглецю від 0,2 до 2,0–2,4%; вони містять також деяку кількість невідновлених оксидів заліза (3–12%) і порожню породу (в основному SiO_2 і Al_2O_3), кількість якої має бути не більше 3–7% від маси окатишів. Важлива характеристика окатишів – міра металізації, тобто відношення кількості відновленого (металевого) заліза до загальної кількості в окатиші; зазвичай вона складає 88–97%.

Відмітна особливість цієї сировини – малий вміст сірки, фосфору, міді, нікелю, хрому та інших домішок, що зазвичай містяться в сталевому брухті (Pb, Sn, Bi, Zn, As). Це спрощує процес виплавки і забезпечує здобуття сталі високої чистоти (сумарний вміст домішок в сталі виходить в 3–10 разів менше, ніж при виплавці із сталевого брухту).

Одним з важливих питань розробки технології плавки із застосуванням металізованих окатишів є вибір оптимального співвідношення кількості брухту та окатишів в шихті. При малій кількості

окатишів недостатній ефект їх вживання - не виходить сталь необхідної міри чистоти. При надмірно великій частці окатишів у шихті сповільнюється їх плавлення, збільшується тривалість плавки і витрата електроенергії. Практика роботи дугових печей з використанням у складі шихти металізованих окатишів показала, що максимальне підвищення їх продуктивності відбувається при підвищенні долі окатишів до 30-50%. Подальше збільшення цієї долі викликає деяке зменшення продуктивності. Проте з врахуванням необхідності здобуття високоякісної сталі з низьким вмістом шкідливих домішок оптимальна кількість металізованих окатишів в металевій шихті складає 50-80%. Там, де це можливо, використовують гарячу металізовану шихту, що дозволяє скоротити тривалість циклу плавки «від випуску до випуску» і заощадити електроенергії до 70 кВт·год./т сталі.

1.3 Використання чавуну в якості шихти

На заводах з повним металургійним циклом електропечі адаптують до вживання рідкого чавуну в шихті, оскільки печі електродуг традиційної конструкції можуть економічно ефективно працювати за наявності в шихті до 30% рідкого чавуну. Конструкція агрегату адаптується з врахуванням специфіки технологічного процесу і повинна забезпечити зручність заливки чавуну, видалення великої кількості пічного шлаку, додаткові методи зневуглецювання, запобігання негативних наслідків бурхливої реакції окислення вуглецю і тому подібне.

Відомі наступні технологічні варіанти заливки рідкого чавуну:

- заливка рідкого чавуну з подальшим заваленням брухту дозволяє істотно збільшити міру використання об'єму ванни і продуктивність агрегату, оскільки електропіч працює з повним випуском плавки (без болота);
- порційна заливка зверху після проплавлення центральної частини шихти та утворення рідкої ванни; технологія дозволяє

швидко заливати весь рідкий чавун, але при цьому посилено зношується футерування подини печі, а в разі протікання бурхливої реакції - водоохолоджувальні панелі;

- заливка чавуну через робоче вікно за допомогою переносного жолоба вимагає додаткового часу, цю технологію неможливо використовувати на ранніх стадіях плавки, оскільки робоче вікно печі може бути вільне лише після проплавлення деякої частини твердої шихти;
- технологія заливки чавуну в період роботи печі з використанням стаціонарного бокового жолоба, встановленого в кожусі ДСП, чавун в жолоб подають з ковша, поміщеного на стаціонарний перекидач або на чавуновоз, що нахиляється.

Висока продуктивність електропечі, що працює із застосуванням рідкого чавуну може бути досягнута при забезпеченні високої швидкості нагріву і зневуглецювання розплаву та організації надійної системи видалення шлаку.

Використання в заваленні електропечі рідкого чавуну енергетично вигідно не лише із-за виділення додаткової хімічної енергії, але і введення у ванну фізичного тепла (табл. 1.1). Температура рідкого чавуну перед заливкою в піч складає 1150-1350°С, при цьому його теплоємність досягає 223-272 кВт·год./т, що забезпечує при заміні 1% металобрухту рідким чавуном близько 2,23-2,72 кВт·год./т додаткової енергії.

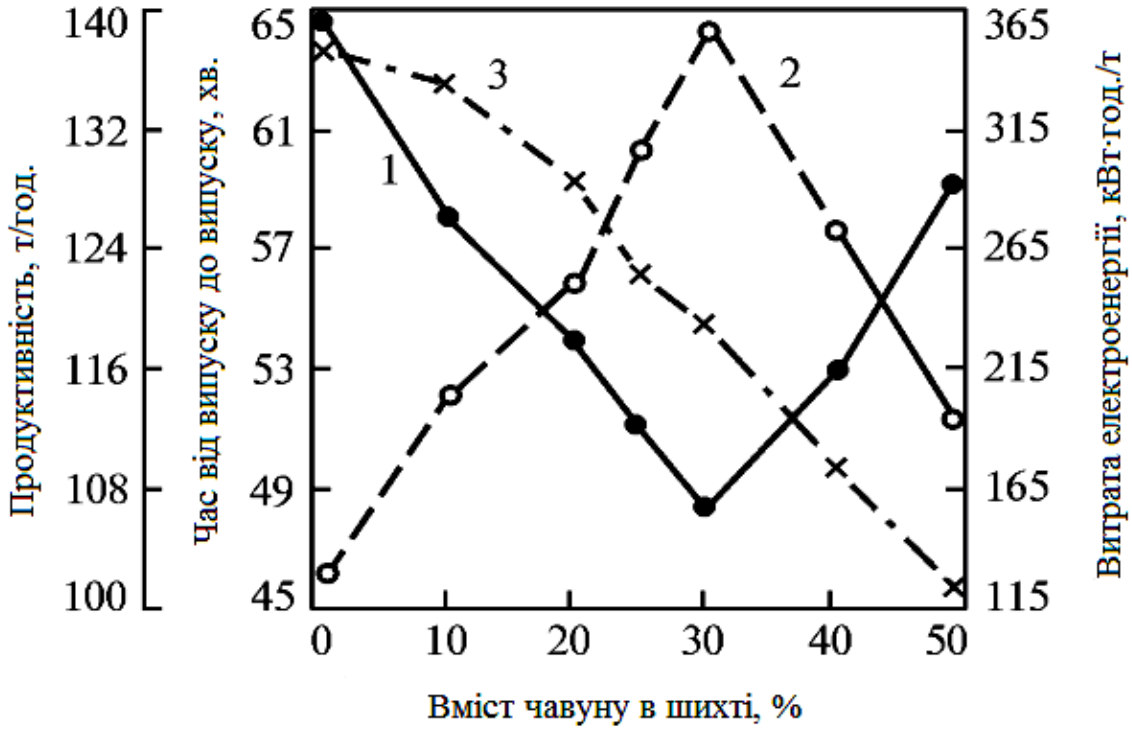
Хімічні реакції окислення кремнію і марганцю при вмісті 1% рідкого чавуну в шихті додатково вносять близько 1,40 кВт·год./т. Вміст вуглецю в чавуні забезпечує надходження тепла від його окислення в кількості 0,5 кВт·год./кг. Крім того, слід враховувати енергію розчинення вуглецю, яка складає близько 0,6 кВт·год./кг. Тому сумарний вклад 1% рідкого чавуну в тепловий баланс плавки складає приблизно 4,3 кВт·год./т [1].

Таблиця 1.1 - Порівняльна характеристика плавок в ДСП заводу «Huta Czenstochowa» (Польща) з вживанням в шихті рідкого і твердого чавуну

Показники	Чавун	
	Чушковий	Рідкий
Маса завалення, т	100	
Чавун в заваленні, %	30	
Тривалість плавки, хв.	63	53
Витрата електроенергії, кВт·год./т	330	245
Витрата кисню, $м^3$/т	28	23
Маса плавки, т	96	97
Продуктивність, т/год.	91	110

Проте, вживання рідкого чавуну при плавці в ДСП надає на її хід двояку дію. Рідкий чавун вносить до ванни додаткову кількість фізичного і хімічного тепла, і це викликає скорочення витрати електроенергії і підвищення продуктивності. В той же час, унаслідок необхідності окислення значної кількості вуглецю, що вноситься чавуном, тривалість плавки збільшується і продуктивність зменшується. Тому є оптимальна кількість чавуну в металевій шихті, при якому досягається мінімальна тривалість плавки і максимальна продуктивність (рис. 1.2). За даними декількох заводів вона дорівнює приблизно 30% [3].

Як важливий компонент шихти, рідкий передільний чавун грає все зростаючу роль в поліпшенні якості сталі, збільшенні продуктивності, скороченні витрат по переділу, причому із зростанням долі чавуну в шихті використання електроенергії на плавку значно знижується. Але економічно ефективне використання приблизно 30% рідкого чавуну в шихті при виробництві електросталі, оскільки подальше збільшення долі рідкого чавуну недоцільне.



1 - тривалість плавки "від випуску до випуску";

2 – продуктивність; 3 - витрата електроенергії.

Рисунок 1.2 - Вплив вмісту чавуну в металевій шихті

1.4 Спінювання шлаку

Спінювання шлаку використовується для збільшення теплового ККД печі під час періоду відновлення, коли бокові стінки по всій поверхні піддаються тепловому випромінюванню від електричної дуги. Спінений шлак піднімається і покриває електричні дуги, що дозволяє працювати на високій потужності, але без збільшення теплового навантаження на стінки печі. Крім того, електрична дуга, покрита спіненим шлаком, матиме вищий ККД при передачі енергії у фазу сталі.

Шлак спінюється шляхом вдування кисню в рідку сталь, де залізо окислюється по наступній реакції:

$$O_2 + 2\,Fe = 2\,(FeO) \qquad (1.1)$$

Одночасно у фазу шлаку вдувається вугільний порошок, і окисел заліза піддається відновленню.

$$(FeO) + C = Fe + CO_{(газ)} \quad (1.2)$$

Отриманий газ CO є найбільш важливим компонентом для спінювання шлаку.

Ідеальним для підтримки спінених шлаків є використання металізованих окатишів, що містять і вуглець, і кисень. Економія енергії досягає 10–30 кВт·год./т рідкої сталі.

1.5 Вживання кисню для інтенсифікації плавки в дуговій сталеплавильній печі

Широко використовують інтенсифікацію плавлення за допомогою газоподібного кисню, що вводиться через водоохолоджувальні фурми (бокові або склепінні) або футеровані труби через робоче вікно безпосередньо в рідкий метал. Виділення значної кількості тепла при окисленні заліза, марганцю, кремнію, вуглецю і інших домішок сприяє швидкому підвищенню температури рідкого металу (таблиця. 1.2) і розчиненню в ньому шихти, що залишилася.

Таблиця 1.2 - Тепловий ефект і підвищення температури t ванни при окисленні 1% елементу газоподібним киснем

Реакція	Тепловий ефект, МДж/кг	Δt, °C
$[C] + \{O_2\} = \{CO_2\}$	32,2	340
$[C]+1/2\{0_2\}=\{CO\}$	11,1	118
$[Fe]+1/2\{0_2\}=(FeO)$	3,99	43
$[Mn]+1/2\{O_2\}=(MnO)$	6,35	67
$[Si] + \{O_2\} = (SiO_2)$	25,4	270
$2\,[Cr] +3/2\,\{O_2\} =(Cr_2O_3)$	10,9	115

Чим раніше починають продування, тим більше інтенсивність плавлення, але в той же час і більше вигар заліза та окиснюваних елементів. Вживання кисню для інтенсифікації плавлення виправдане, якщо вартість кисню і підвищений вигар компенсують економією від прискореного плавлення [4].

Подача кисню в робочий простір ДСП в період плавлення в кількості від 8 до 30 $м^3$/т завалення через трубки, фурми або стінні пальники дозволяє:

- зменшити витрату електроенергії на 10,8 - 12,6 МДж (3,0 - 3,5 кВт·год.) на кожен кубічний метр витраченого кисню і тривалість плавлення приблизно на 1,5 - 1,0 хвилин на кожен кубічний метр залежно від питомої активної потужності печі;
- зберегти приблизно на тому ж рівні витрату первинних енергетичних ресурсів;
- прискорити плавлення металобрухту в холодних зонах печей між електродами у водоохолоджуваних панелей.

1.6 Продування металевої ванни знизу

При продуванні металевої ванни знизу одночасно вирішувалося завдання використання альтернативних джерел енергії, а також використання потенційної хімічної енергії CO, що виділяється з ванни.

Показовою в комбінованому продуванні киснем і іншими газами є загалом одна технологія плавки сталі в ДСП, розроблена фірмою Danieli (Італія) під назвою Danarc (англ.: arc - дуга) і фірмою Klockner (Німеччина) під назвою K-ES (ES - електросталь). Ця технологія отримала вживання на заводах низки країн і широко поширюється в сталеплавильному виробництві. Вона включає продування ванни зверху киснем, знизу аргоном або киснем в захисній оболонці газу, що складається з аргону і вуглеводів, а також подачу в робочий простір печі кисню для допалювання CO, що

виділяється з ванни і спалювання палива за допомогою введених в цей простір паливних пальників.

Схема розташування пристроїв для проведення процесу за технологією Danarc приведена на рис. 1.3, 1.4. У днищі печі, між електродами (1) і стінами, встановлюється 4-5 сопел (2) для продування киснем або інертним газом. У стінах печі встановлюються паливні пальники (3), а також фурми (4) для подачі кисню.

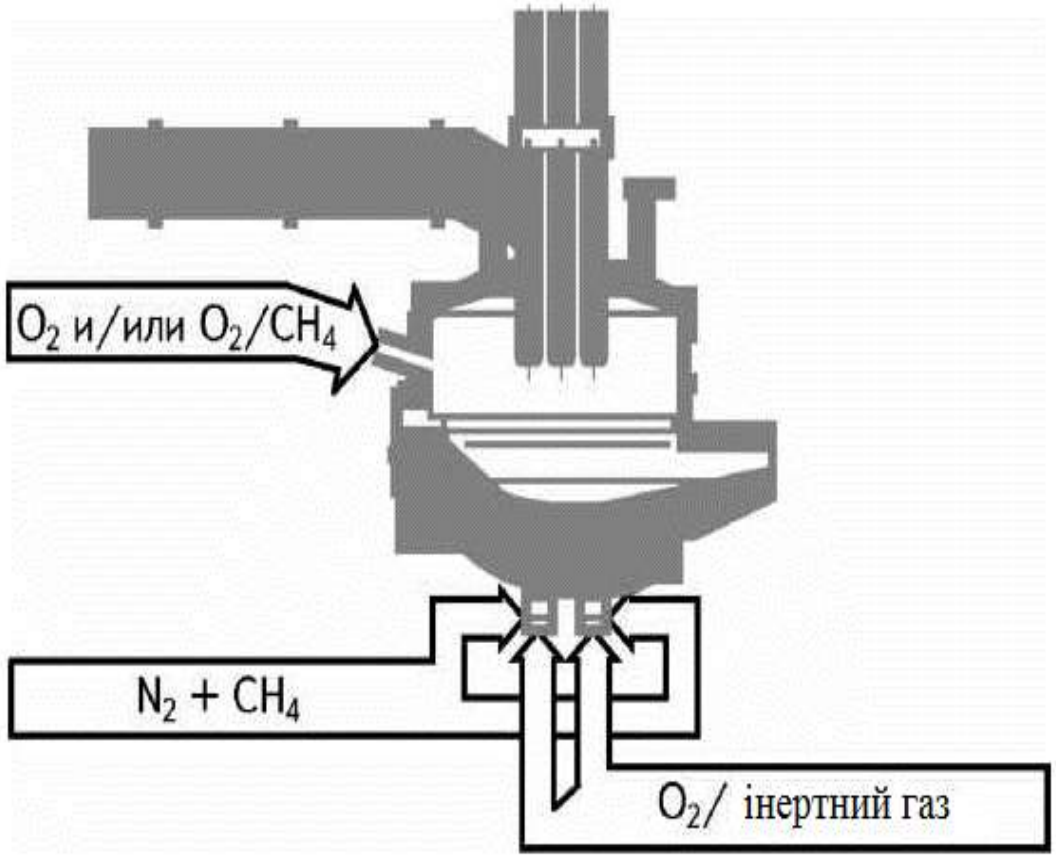


Рисунок 1.3 - Схема розташування кисневих фурм і пальників для проведення процесу Danarc

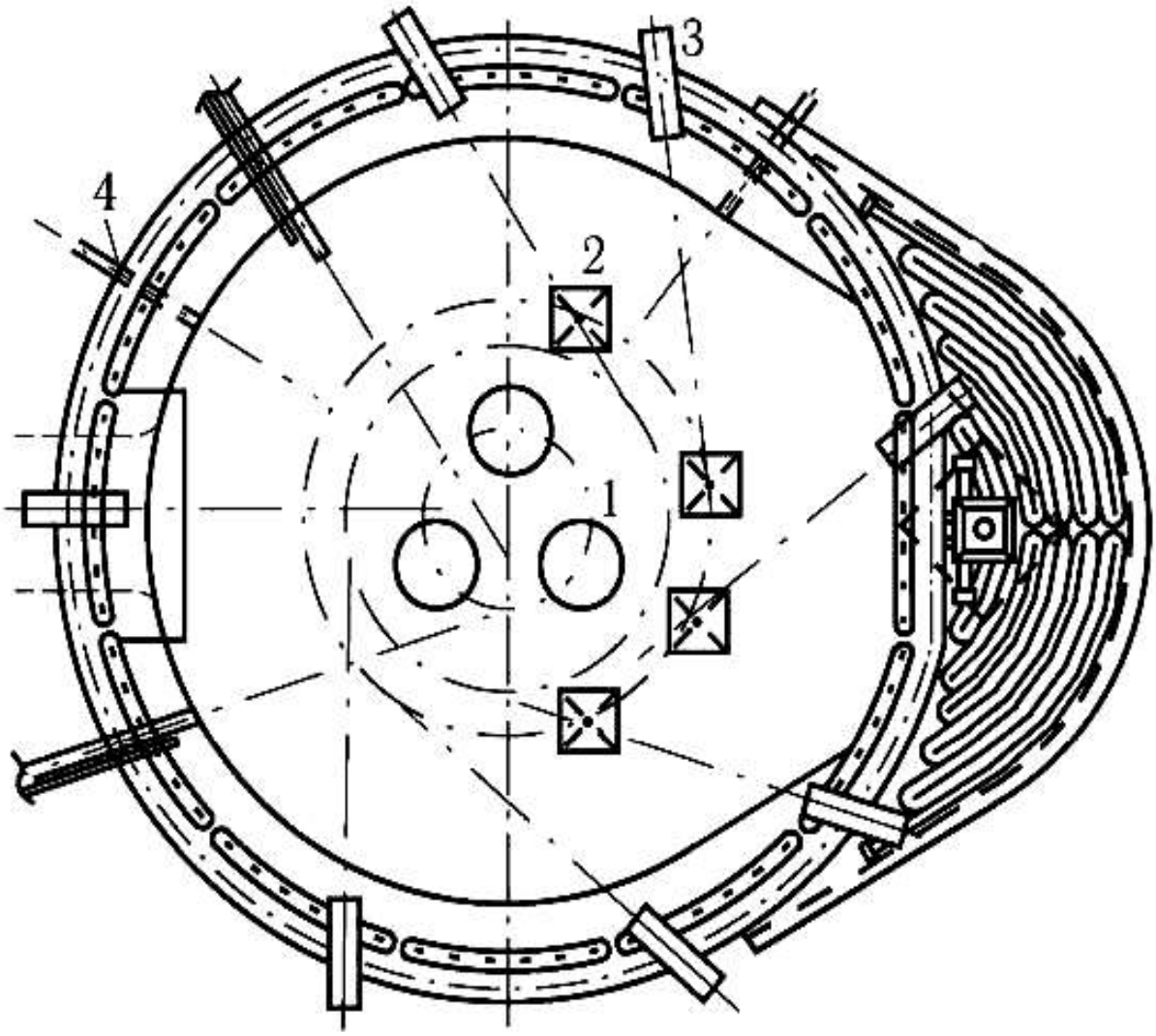


Рисунок 1.4 - Схема системи продувки при виплавці сталі
за технологією Danarc

Донне продування киснем або інертним газом, викликаючи інтенсивне перемішування, прискорює плавлення. Вживання кисню з цією метою ефективніше, оскільки при цьому вже на початку плавлення шихти першої бадді починається окислення вуглецю. Міхури CO, що утворюються при цьому, інтенсивніше барботують ванну, вирівнюючи розподіл температурних полів і концентрації елементів. Прискорюються і хімічні реакції, стан яких наближається до рівноваги [3].

Техніко-економічні показники роботи ДСП до застосовування технології K-ES (Danarc) і з її вживанням приведені в табл.1.3.

Таблиця 1.3 - Техніко-економічні показники плавки сталі в ДСП по різним технологіям

Показники	Технологія плавки	
	до застосовування K-ES	з застосовуванням K-ES
Маса плавки, т	80	80
Потужність трансформатора, МВА	40	40
Час від випуску до випуску, хв.	67	53
Витрата електроенергії, кВт·год./т	390	325
Витрата природного газу, $м^3$ /т	6	6
Витрата кисню, $м^3$ /т	35	50
Витрата вуглецю, кг/т	8	15
Витрата електродів, кг/т	2,7	2,7

Видно, що із застосуванням технології Danarc збільшується витрата кисню і вуглецю, але істотно скорочується час від випуску плавки до випуску, тобто підвищується годинна продуктивність, і значно зменшується витрата електроенергії.

1.7 Вживання паливно-кисневих пальників

В даний час ПКП є ефективним способом прискорення електроплавлення. У ПКП відбувається спалювання газоподібного, рідкого або твердого палива безпосередньо в робочому просторі печі із здобуттям високотемпературного факела. ПКП використовують для прискорення розплавлення шихти (окислювальне плавлення), для нагріву шихти і підрізування брухту на холодних ділянках плавильного простору.

Паливо і кисень, що витрачаються в пальниках, частково заміщають необхідну електроенергію. Число пальників може бути від 1 до 9.

Спалювання палива пальниками ефективно лише протягом декількох хвилин після завалення кожної порції металобрухту. Потім ці пальники використовуються для продування киснем.

Пальники включають після завантаження кожної порції брухту на 5-7 хвилин; загальна тривалість їх роботи не перевищує 15-17 хвилин. Далі пальники відключають унаслідок зменшення їх ефективності, викликаного погіршенням умов теплопередачі, особливо при осіданні металобрухту і скороченні конвективного контакту факелів з шихтою, і зниження ККД пальників. Із застосуванням стінних пальників тривалість плавлення скорочується на 10-15%, а витрата електроенергії - на 25-50 кВт·год./т. При цьому зменшується сумарна витрата хімічної енергії палива.

Доцільність заміни частини (< 15-20%) електроенергії в ДСП енергією спалюваного палива визначається: цінами на електроенергію і паливо, мірою корисного використання різних енергоносіїв, їх дефіцитом взагалі і в даній місцевості, зокрема. Ці та інші чинники враховуються при виборі способу нагріву ванни і технології плавки [3].

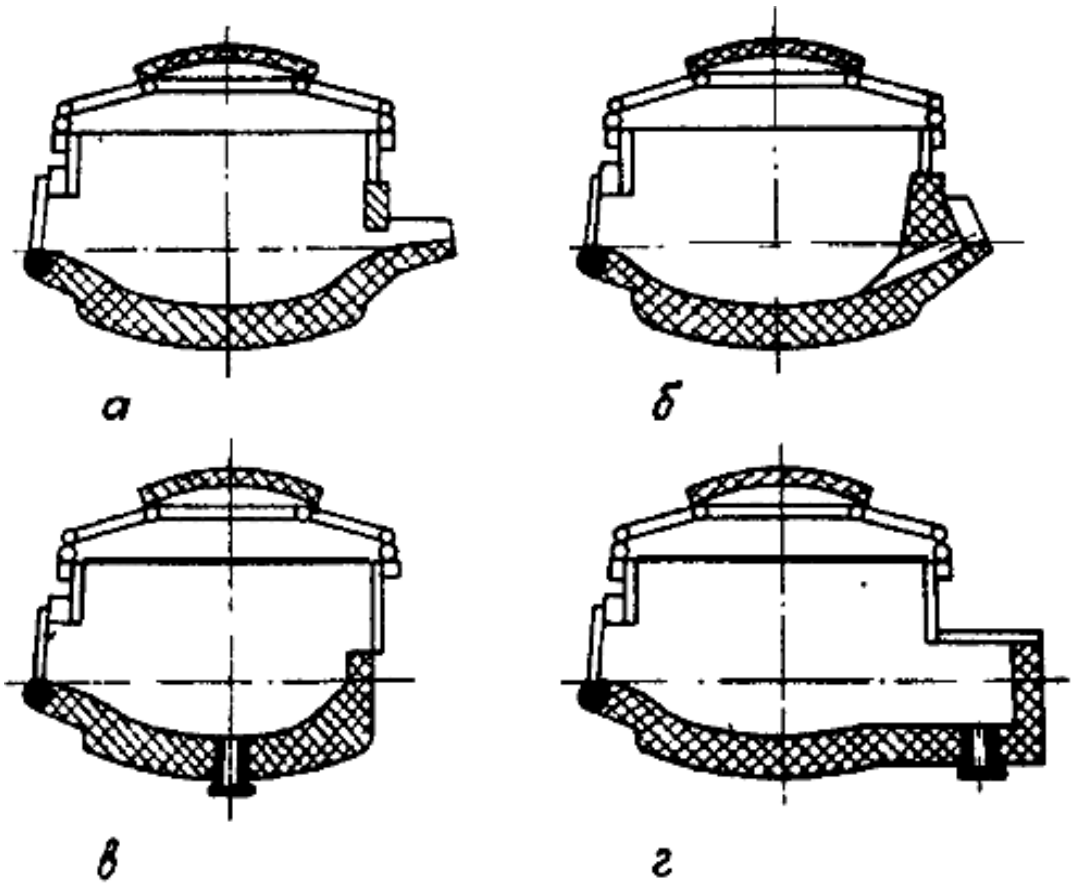
Порівняльні показники роботи ДСП без використання ПКП та з їх застосовування приведені в табл. 1.4.

1.8 Донний випуск сталі

До кінця 70-х років у всьому світі ДСП будували із звичайним традиційним випуском металу в ківш через жолоб, що пов'язане з нахилом печі під час зливу на кут до 45°. У зв'язку з розвитком високопотужних печей і необхідністю зливати метал з печі без шлаку, а також переходом на злив сталі з печі в ківш, встановлений на сталевозі, потрібно було змінити схему випуску металу так, щоб отримувати короткий компактний струмінь і залишати шлак в печі. В даний час отримують розвиток донний, сифоновий і еркерний випуски металу (рисунок 1.5).

Таблиця 1.4 - Порівняльні технологічні показники роботи печей 150-т ДСП

Показники процесу електроплавлення в ДСП	ДСП без ПКП	ДСП з застосуванням ПКП
Тривалість плавки під струмом, хв.	100	85
Питома витрата кисню на тонну придатного металу, $м^3/т$	14,5	30,2
Питома витрата вуглецю в шлак на тонну придатного металу, кг/т	18	13
Питома витрата окатишів на тонну придатного металу, кг/т	650	720
Питома витрата вапна на шлакоутворення, кг/т	55	68
Енерговитрати на процес плавки, кВт·год./т	689,5	586,5
Продуктивність дугової печі, т/год.	60,96	75,61



а - традиційний з нахилом печі на кут до 45°; б - сифоновий (чайниковий); в - донний; г - позацентровий (еркерний випуск)

Рисунок 1.5 – Схема випуску сталі

ДСП з центральним донним випуском в порівнянні із звичайною піччю, що нахиляється на кут до 45° має наступні переваги:

1. Маса металоконструкції зменшується на 20—25%;
2. Знижуються механічні навантаження на електродні тримачі, що направляють стійки, коротку мережу, електроди;
3. Зменшується довжина короткої мережі та її індуктивний опір;
4. За рахунок короткого струменя немає необхідності перегрівати метал в печі на 20—30°С, що забезпечує економію електроенергії на 15—30 кВт·год./т;
5. Забезпечується збільшення площі стінних водоохолоджувальних панелей з 70 до 85% і більш легші умови їх експлуатації;
6. Зменшується витрата вогнетривів і заправних матеріалів;

7. За рахунок короткого струменя під час випуску металу зменшуються його вторинне окислення і насичення газами;
8. Відпадає необхідність мати в розливному прольоті крани великої вантажопідйомності.

В той же час ДСП стаціонарного типу з донним випуском в центрі подини не дозволяють випускати метал без шлаку і вимагають ретельного догляду за сталевипускним отвором в дискомфортних умовах.

Відмічені недоліки ДСП з центральним донним випуском надалі були усунені за рахунок перенесення випускного отвору з центру подини в спеціальний виступ (еркер), розташований в області заднього укосу печі там, де був випускний жолоб. При цьому рівень випускного отвору розташовується вище за рівень подини печі. Це дозволяє при нахилі печі на кут 10—12° забезпечувати постійний рівень металу над випускним отвором. При еркерному випуску метал може зливатися з печі повністю або частково. Шлак у всіх випадках залишається в печі, що має первинне значення для обробки металу методом ковшової металургії. При еркерному випуску практикується залишати в печі 10—15% рідкого металу з шлаком, а для заправки подини і укосів печі зливати метал повністю через певну кількість плавок.

За даними фахівців АТ “Кузнецького металургійного комбінату” устаткування донного випуску металу з дугових печей дозволяє скоротити тривалість випуску не менше чим на 4 хв., зменшити тривалість розплавлення, скоротити на 50% час на торкретування і заощадити до 30 кВт·год./т електроенергії, понизити сумарну витрату електродів на 6% (за рахунок скорочення тривалості плавки і зменшення температури металу) [6].

Таким чином, в даний час еркерний випуск металу є найбільш прогресивним. Він зберігає всі достоїнства донного центрального випуску і має свої переваги — простота обслуговування донного отвору і можливість

зливу металу з печі без шлаку, що скорочує тривалість випуску і знижує витрати.

1.9 Захист електродів

Графітовані електроди – це матеріал, що витрачається, вартість якого складає істотну витратну частину вартості готової продукції (10 – 12,5%), що часто перевищує витрати на електроенергію. Складові витрат електродів представлені в таблиці 1.5 [7].

Таблиця 1.5 - Баланс витрат графітованих електродів в дугових печах

Статті витрат електродів	кг/т	%
Окислення бічної поверхні під впливом температури	1,700	37,8
Термомеханічне руйнування та знос	1,580	35,0
Емісія під впливом електричного поля	0,450	10,0
Окислення торцевих частин	0,300	6,7
Поломка від вигинаючих навантажень	0,190	4,3
Руйнування графіту рідкою ванною металу	0,135	3,0
Дія ударних і вигинаючих навантажень	0,145	3,2
Повна витрата електродів	4,500	100,0

Велике значення має їх якість і спосіб підведення струму, оскільки в електродах і контактах втрачається значна частина електроенергії, що підводиться до печі. Для зменшення втрат необхідно, щоб електрод володів можливо меншим питомим електроопором.

Одним з факторів, що впливають на питомий електроопір, є щільність матеріалу. Підвищення уявної щільності просоченого графіту при незмінному значенні істинної щільності приводить до зменшення питомого

електроопору, що пов'язано із загальним ущільненням структури матеріалу [8].

Термічна обробка вуглецевих тіл також приводить до зміни їх електричного опору, який є показником структурних перетворень, що сталися, при графітизації вуглецевого обпаленого матеріалу. Зменшення електричного опору досягається збільшенням як температури обробки, так і часу витримки [9].

Загальний опір свічки з електродів визначається їх кількістю і загальною довжиною. У таких випадках він різко зростає унаслідок перехідного опору в місцях стиковки електродів. У місцях з'єднання електродів наявність перехідного контакту між електродом і ніпелем обумовлює створення зони з високим електроопором. З цієї причини в місцях з'єднання електродів відбувається посилений нагрів, що супроводжується інтенсивним окисленням. В результаті відбувається розпал швів і утворення “шийки”. Це слабке місце в свічці, яке може викликати утворення всіляких тріщин в тілі електроду, прослизання його в кріпленнях і поломку в початковій стадії процесу із-за виникнення механічної напруги при зіткненні електроду з шихтою. Особливо часто утворюються тріщини в зоні ніпельного з'єднання, яке має значно більшу температуру, чим стрижень електроду. Виходячи з цього, можна зробити висновок, що матеріал сполучного ніпеля повинен володіти питомим електричним опором і коефіцієнтом теплового розширення не більшим, ніж у з'єднуючих електродів.

Істотно позначається на контактному електричному опорі геометрична точність і шорсткість оброблених торцевих поверхонь електродів. При щільному, добре виконаному ніпельному з'єднанні 2/3 струму проходить через торцеві поверхні електродів і 1/3 – через сполучний ніпель. За наявності зазору весь струм проходить через ніпель. За даними Б.М.Кузіна, підвищення класу точності і шорсткості поверхні сприяє значному зниженню контактного опору в ніпельному з'єднанні. Порівнянню

піддавалися зразки з різною шорсткістю, оброблені на токарному, фрезерному і шліфувальному верстатах. При навантаженні 200 кг контактний опір ошліфованих зразків менше на 57% в порівнянні з матеріалом після токарної обробки. Було виявлено, що зменшення питомого електроопору на 1 Ом·мм^2/м скорочує питому витрату електродів на 4 – 12% і електроенергії на 30 кВт·год./т [10].

Механічно та термічно збалансована міцність з'єднання “електрод-ніпель-електрод” є одним з найважливіших чинників запобігання поломок електродів. Поведінка ніпельного з'єднання визначається складним спільним впливом електричної, термічної і механічної напруги, що обумовлює утворення значної термомеханічної напруги в з'єднанні при експлуатації [11].

Для зниження перехідного електроопору ніпельного з'єднання можливе нанесення захисного покриття. У роботі [12] представлена технологія нанесення алюмінієвого покриття на торцеві поверхні методом металургії електродуги, виключаючи ніпельне гніздо, з метою поліпшення контакту в місці з'єднання електродів і підвищення електропровідності.

Таким чином, значні втрати як електроенергії, так і надмірна витрата дорогих графітованих електродів пов'язані, головним чином, з недостатнім контактом в ніпельному гнізді та електродотримачі. Найбільш продуктивним способом підвищення роботи електродів є формування надщільного електропровідного поверхневого захисного покриття.

Окислення бічної поверхні складає значну (≈38%) видаткову частину в експлуатації графітованих електродів (таблиця 1.5). Можна виділити основні напрями розробок по зменшенню окислення поверхні. По-перше, це вживання комбінованих електродів з системою водоохолодження, по-друге, нанесення захисних покриттів.

Комбіновані електроди складаються з металевої водоохолоджуючої частини і графітової частини, що витрачається. При цьому можливі такі варіанти, як металева частина невеликої і середньої довжини без захисного

покриття; металева частина середньої довжини із закріпленим на ній керамічним покриттям; металева частина невеликої довжини без захисного покриття і середня частина з водоохолоджуваного графіту; середня частина великої довжини із закріпленим на ній керамічним покриттям. Бічний чад знижується на 40%, термомеханічний знос і механічної напруги складає 35%; втрати на руйнування в результаті механічної напруги знижуються на 3 – 4%. Зниження окислення електродів досягається як зменшенням температури реакції на поверхні, так і зменшенням площі поверхні графітової частині. До недоліків можна віднести ускладнення обслуговування електродів: необхідність розширення старого або спорудження нового ніпельного стенду, поява додаткових робочих операцій при монтажі, забезпечення безпеки системи водоохолодження.

Захисні покриття можна розділити на декілька типів: дифузійні (наносять у вакуумі та в газовому середовищі); плазмові; сформовані з газової фази (розкладання галогенідів тугоплавких металів); отримані шляхом конденсації металів у вакуумі та нанесення різних обмазок з подальшою їх термообробкою [13].

Способи, що вимагають створення вакууму або інертної газової атмосфери, значно ускладнюють процес виробництва електродів, що веде до їх подорожчання. І лише органічне об'єднання дифузійного і шлікерного методів нанесення покриттів дозволяє формувати на графіті композицію, що задовольняє умовам високотемпературних жаростійких покриттів.

Цим вимогам задовольняє спосіб електроосадження кремнію з розплаву солей. Даний спосіб забезпечує надійність покриття при температурах більш 1000°С, які виникають на електродах під зведенням дугових печей; не вимагає повторення процесу кілька разів, знижує пористість до 5,4%, що призводить до зниження окисленності поверхні електродів.

Таким чином, для зниження витрати електродів за рахунок окислення бічної поверхні найбільш доцільний спосіб нанесення кремнієвого захисного покриття методом електроосадження з розплаву солей.

ВИСНОВКИ

В даний час технологічні рішення ресурсо- та енергоекономії по способу їх використання можна поділити на: підготовку шихтових матеріалів; використання нових залізовмісних компонентів шихти; обробку рідкої сталі та шлаку в печі; вибір та використання оптимальних електричних режимів плавки; раціональне використання та захист електродів. Деякі з них мають достатньо просте апаратурне оформлення, інші – більш складні, але вигоди при промисловому використанні цих засобів перекривають затрати пов'язані з встановленням додаткового обладнання або використанням нових прийомів та дозволяють отримати істотний економічний ефект. Але ці способи недостатньо задовольняють вимогам сучасної електрометалургійної промисловості України, тому вимагають більш детального вивчення та дослідження.

Наступним етапом кваліфікаційної роботи повинно стати всебічне та ґрунтовне дослідження простих та достатньо ефективних способів, таких як, продування металу порошками, використання прес-ножиць для підготовки металобрухту та попередній підігрів шихти, які є більш прийнятними для вітчизняного електросталеплавильного виробництва.

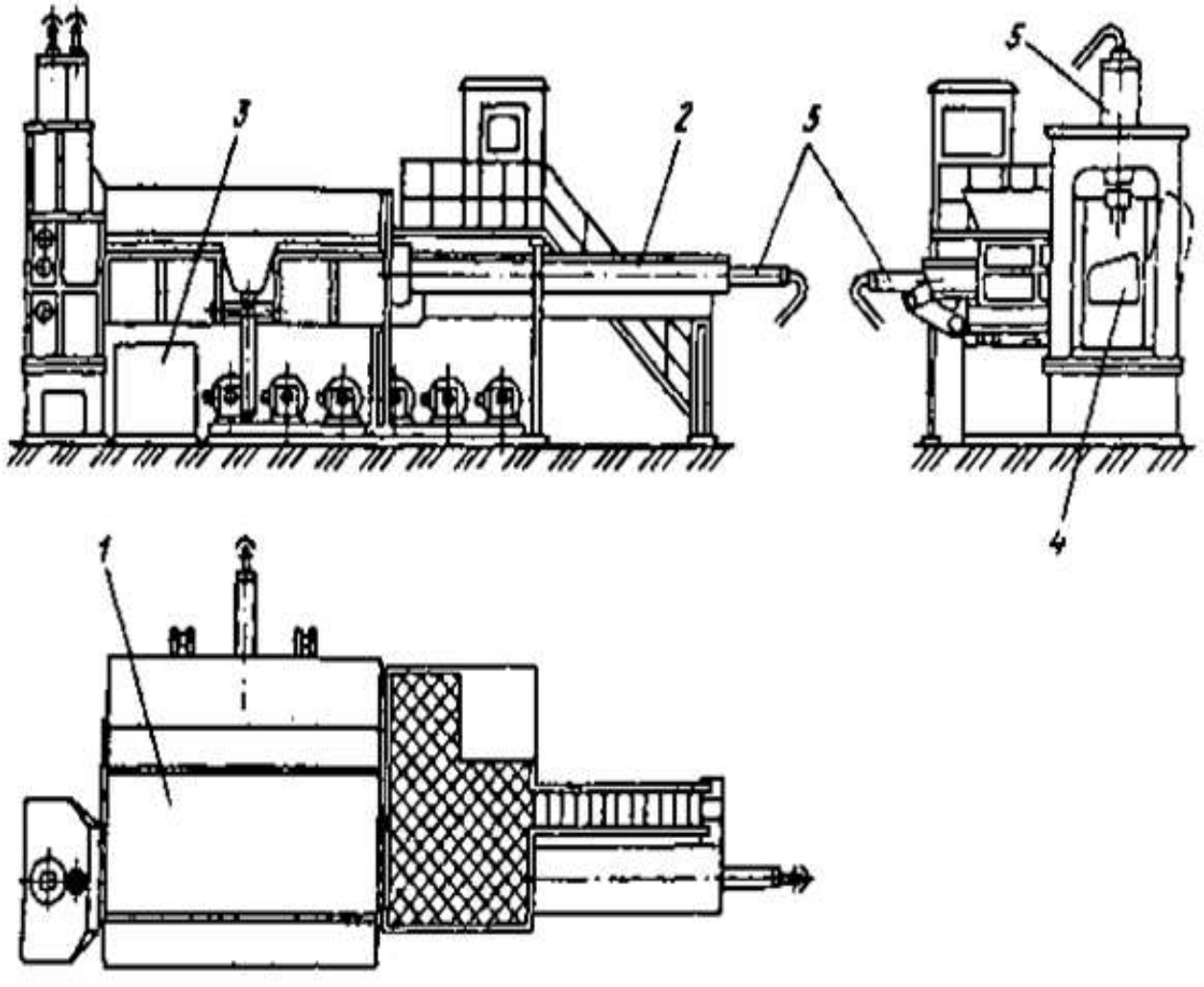
2 ДОСЛІДЖЕННЯ ОСНОВНИХ МЕТОДІВ ПО ЗНИЖЕННЮ РЕСУРСО- І ЕНЕРГОВИТРАТ ПРИ ВИПЛАВЦІ ВІТЧИЗНЯНОЇ ЕЛЕКТРОСТАЛІ

2.1 Визначення впливу переробки металобрухту на прес-ножицях на витрати при виробництві сталі

На ПАТ «Дніпроспецсталь» було проведено дослідження впливу переробки металобрухту на прес-ножицях на витрати при виробництві сталі.

Прес-ножиці є універсальним агрегатом як для великого, так і легковагого і змішаного брухту з набагато меншим об'ємом попереднього сортування. При цьому досягається продуктивність від 8 до 50 тонн в годину залежно від моделі. Наявність функції пресування в прес-ножиць не обов'язково, оскільки порубаний тонкостінний брухт має привабливіші перспективи для його реалізації, ніж пакети. Це пов'язано з тим, що в пакетах часто попадаються домішки, які неможливо виділити при прийманні на металургійному підприємстві, але які істотно погіршують хімічний склад розплавленого металу та економіку переділу.

В даний час велика кількість металобрухту, що набуває, є легковаговим, унаслідок чого фактична питома щільність шихти, що поступає в сталеплавильні цехи, рівна 0,3 т/м^3. Відповідно, маса шихти в завалочній бадді 8,3 тони. Це приводить до збільшення числа підвалювань металобрухту під час плавки (до 4) і, як наслідок, до зростання витрати електроенергії, електродів і збільшенню тривалості плавки. Установка в копровому цеху прес-ножиць для різання і пресування легковагого брухту, дозволила підвищити його насипну масу до 1 т/м^3 і понизити витрати на виплавку сталі.



1 — завантажувальна камера; 2 — вузол подачі матеріалу;
3 — маслостанція, 4 — ніж; 5 — гідроциліндри
Рисунок 2.1 - Прес-ножиці гідравлічні

Прес-ножиці можуть працювати як в режимі пресування, так і в режимі різання. При пакетуванні брухт за допомогою механізму подачі 2 подається в завантажувальну камеру 1, де пакет формується по ширині. Потім металобрухт пресується по вертикалі. Після формування пакети за допомогою механізму остаточного пресування виштовхуються з камери штемпелем. При роботі прес-ножиць в режимі різання поперечна стінка камери, що є ножовою балкою, піднімається, і металобрухт за допомогою механізму подачі переміщається під ніж 4. Різання здійснюється механізмом, що працює від гідроприводу [14].

Принцип роботи прес-ножиць не є складним технологічним процесом, проте вони є устаткуванням, яке мінімізує вживання ручної праці. Вся конструкція прес-ножиць складається з таких робочих елементів, як мульда, бункер для завантаження сировини, і дві кришки рухливого типу. Кришки призначені для того, щоб при закритті ще і пресувати вміст камери, за рахунок тиску. Таким чином, матеріал, що поступив в камеру, пресується за допомогою спеціальних кришок в пакет мінімальних розмірів. Далі цей пакет за допомогою такого елементу установки як циліндр штовхаючого типа дії, просувається до установки самої гільйотини, яка і виробляє безпосередньо нарізку металу. Верхній ніж в установці має рухливу конструкцію, сам ніж зверху кріпиться під кутом в дванадцять градусів, нижні ножі закріплені непорушно. Всі різальні роботи відбуваються під тиском.

Технологічний процес включає наступні операції:

- розвантаження і складування металобрухту;
- підготовка металобрухту для переробки;
- завантаження металобрухту в прес-ножиці;
- переробка металобрухту;
- прибирання, складування і відвантаження готової продукції.

*Розвантаження і складування металобрухту***.** Металобрухт, що поступає на ділянку для переробки, піддається вхідному піротехнічному, радіаційному і хімічному контролю. Результати перевірки металобрухту на вибухову, радіаційну і хімічну безпеку фіксуються в спеціальному журналі. Після перевірки виробляється розвантаження металобрухту. Металобрухт повинен розвантажуватися на окремі майданчики і, після перевірки, завантажуватися в прес-ножиці для подальшої переробки. Металобрухт, що поступає в змішаному вигляді, піддається розсортовуванню. Лом, розмірами більше допустимих для переробки на пресі-ножицях, складується

на окремому майданчику для вогневого різання. Розвантаження автомашин і залізничних вагонів відбувається із застосуванням автонавантажувачів.

*Підготовка металобрухту***.** Підготовка металобрухту до переробки полягає в наступному:

- відсортовування брухту, що належить переробці із застосуванням автонавантажувача;
- при необхідності, різання великогабаритних шматків брухту на частини, зручні для завантаження в прес-ножиці;
- газове підрізування брухту складних форм з метою відділення брухту для переробки на прес-ножицях;
- відбір неметалічних предметів.

*Завантаження металобрухту в прес-ножиці***.** Завантаження придатного для переробки металобрухту виробляється автонавантажувачем в завантажувальний короб по команді пресувальника. Вид металобрухту визначається за даними вхідного контролю, а маса завалення на одну операцію регулюється візуально пресувальником. Металобрухт повинен розподілятися по всій довжині короба і завантажуватися, по можливості, поблизу зовнішнього краю короба. Завантаження металобрухту з короба, що перевертається, в прес - камеру виробляється при нерухомому стані рухливих механізмів, що знаходяться в крайньому вихідному положенні.

Металобрухт повинен падати на дно короба з висоти 500-1000мм.

*Переробка металобрухту***.** Цикл різання:

- перекидання кузова (матеріал переміщається в короб);
- Закриття верхньої стулки (ручне управління);
- Подача преса (ручне управління);
- Пресування штовхальником (автоматичне управління);

Автоматичні цикли різання:

- Подача штовхальника на довжину різу;
- Подача поперечного преса;
- Опускання преса;

- Опускання ножа;
- Одночасний підйом ножа і преса, відведення поперечного преса;
- Повернення штовхальника (автоматичне управління);
- Відкриття верхньої стулки і одночасне відведення преса (автоматичне управління).

*Прибирання, складування і відвантаження готової продукції***.** Прибирання різаного металобрухту з приймального бункера прес-ножиць повинне відбуватися автонавантажувачами на майданчик, залізничні вагони, автотранспорт або в спеціальну технологічну тару [15].

Таблиця 2.1 - Економія витрат на виплавку сталі ШХ15

Стаття витрат	2020	2021	2022
Електроенергія	$1 575	$1 802	$1 802
Електроди	$926	$1 060	$1 060
Вигар	$2 212	$2 470	$2 470
Разом	$4 713	$5 332	$5 332

Використання прес-ножиць дозволило істотно поліпшити якісні характеристики брухту, скоротити кількість баддів і совків для завалення однієї плавки, понизити тривалість плавки, а також збільшити продуктивність агрегатів та отримати економію енергоносіїв. Використання прес-ножиць скоротило витрату електроенергії на 15 кВт·год./т та витрату електродів на 0,52 кг/т.

2.2 Дослідження використання підігріву шихти для зниження ресурсо- та енерговитрат

Було проведено аналітичний огляд ефективності застосування попереднього підігріву шихти на економію витрат при виробництві електросталі.

З метою економії енергоресурсів достатньо привабливим представляється технологічне використання тепла пічних газів, що відходять, які складають істотну частину теплового балансу електропечі (більше 19%).

2.2.1 Шахтні печі

З метою збільшення ефективності роботи агрегатів доцільно застосовувати попереднє підігрівання шихти газами, що відходять. Найбільшого поширення набули шахтні дугові печі (ШДСП), які використовують теплоту газів, що відходять, для попереднього нагріву брухту в шахті, розташованій над зведенням печі.

Шахтні печі конструкції були розроблені на базі звичайної дугової печі, об'єм якої збільшили за допомогою, так званою, шахти, що встановлюється над зведенням печі. Шахта, через яку завантажують в піч до 60% шихти, може відводитися убік для звичайного завалення баддями. Поперечний перетин шахти обмежений, тому великогабаритний металобрухт, пакети і стружка не призначені для підігрівання і завантажуються за допомогою першої бадді у ванну печі. Наступними баддями середнєгабаритний брухт і продукцію шредерної установки завантажують через шахту. Металобрухт підігрівається в шахті печі за рахунок теплоти газів, що відходять, і за допомогою газокисневих пальників, розташованих в нижній частині шахти.

Досвід роботи шахтних печей в Данії і Англії показав, що шихта перед плавкою може нагріватися до 800 °С. Підігрівання брухту до 800–1000 °С у шахтних печах дозволяє досягти економії електроенергії близько 100–200 кВт·год./т [4].

Шахтна дугова піч з утримуючими пальцями усуває один з недоліків шахтних печей – завантаження першої порції шихти у ванну в холодному стані. Для цього шахта електропечі в нижній частині обладнана спеціальним фіксатором (водоохолоджуваними пальцями), які утримують брухт в зоні підігрівання шихти.

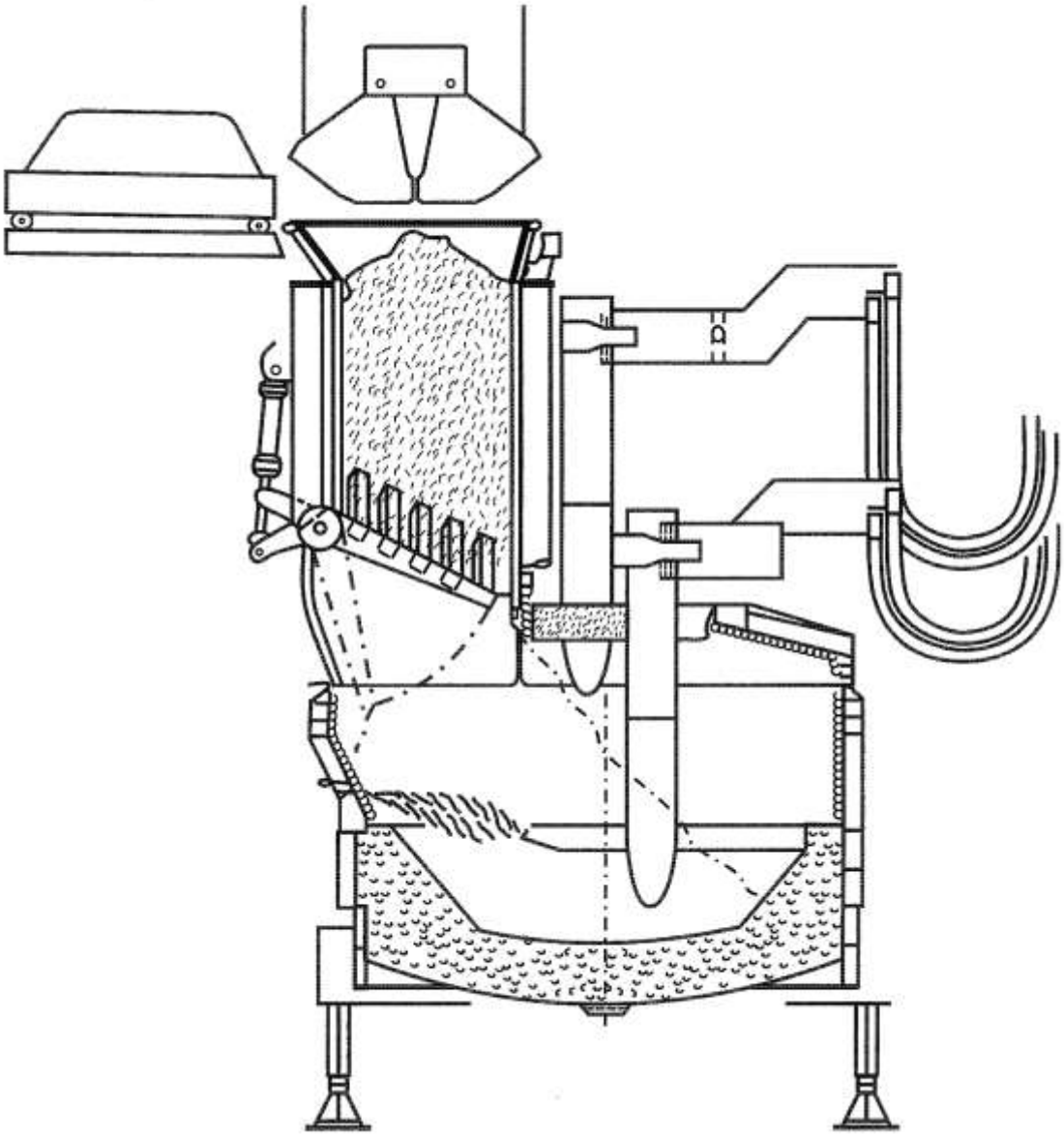


Рисунок 2.2 - Шахтна дугова піч з утримуючими пальцями

Після випуску плавки пальці «відкриваються» і нагрітий металобрухт завантажується в залишок рідкого металу, після чого в шахту завантажується друга порція брухту. Показники роботи шахтної дугової печі з утримуючими пальцями і звичайною ДСП приведені в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 - Порівняльні показники роботи ДСП заводу ЗАТ «ММЗ «ISTIL» (Україна)» і шахтної печі з утримуючими пальцями ВАТ «Северсталь»

Показник	ДСП	Шахтна піч
Місткість печі, т	120	120
Тривалість плавки, хв.	67	52
Питома витрата електроенергії, кВт·год./т	343	280
Питома витрата: електродів, кг/т кисню, $м^3$/т природного газу, $м^3$/т порошкоподібного вуглецю, кг/т	 2,0 43,30 6,72 н.д.	 1,5 33,5 5,0 8,0
Продуктивність, т/год.	104,1	144

Економія від вживання печей такої конструкції досягається зниженням витрати електричної енергії і підвищенням продуктивності.

2.2.2 Порційний нагрів металобрухту в завантажувальних баддях

Порційний нагрів металобрухту в завантажувальних баддях дозволяє понизити втрати тепла з газами, що відходять, і, певною мірою, сприяє енергозбереженню. Так, згідно з оцінкою, питома витрата електроенергії в результаті вживання технології знижується на 20-40 кВт·год/т.

Проте підігрітий металобрухт в період завантаження в піч виділяє дим, забруднюючи атмосферу в цеху, а виділення шкідливих речовин на виході з системи газоочистки створює умови для забруднення довкілля. Вирішення цієї проблеми було знайдено в застосуванні завантажувальної бадді з жароміцної антикорозійної сталі без істотних змін їх конструкції. Надійні ущільнювачі на вході гарячих газів в завантажувальну баддю повинні забезпечити прохід газів лише через шар брухту і запобігти обхідному їх руху по стінах камери нагріву. Для поліпшення проходу димових газів і видалення масел і інших рідких продуктів, які утворюються при нагріві брухту, бадді в нижній частині мають отвори. Установки оснащені засобами виміру і контролю параметрів газу. Регулювання витрати димових газів здійснюється автоматично залежно від їх температури на виході з камери нагріву. Установки оснащені регулюючими і відсічними клапанами, що працюють в умовах запилених газів при температурі до 800-850 °С.

Встановлено, що при підігріванні брухту в спеціальній бадді 45% тепла газів, що відходять, витрачається на нагрів металобрухту та бадді, 37% - втрачається з водою охолоджуваних елементів і 18% - з газом, що видаляється. Нагрівають металобрухт зазвичай до середньомасової температури 250-350°С при температурі газу на вході 400-800°С [4].

У таблиці 2.3 приведені показники роботи електропечі з підігрівачем брухту в бадді та без підігріву металобрухту.

Таблиця 2.3 - Показники роботи ДСП з підігрівачем брухту в бадді та без підігріву металобрухту

Показники	Холодний брухт	Нагрітий брухт
Місткість печі, т	100	100
Маса плавки, т	90	90
Витрата електроенергії, кВт·год./т	330	260
Витрата кисню, $м^3$/т	41,6	35
Природний газ, $м^3$/т	8	7
Матеріали, що вдуваються: кг/т вуглецевий порошок вапно	 9 33	 9,8 32
Питома витрата електродів, кг/т	1,1	0,9
Тривалість плавки, хв.	42	39
Тривалість роботи під навантаженням, хв.	36	30
Годинна продуктивність, т/год.	127	138

На печах такої конструкції використовують дві схеми евакуації пічних газів: за першою схемою димові гази відводяться безпосередньо на газоочистку (система без рециркуляції газів); за другою схемою гази повертаються в камеру допалювання (система з рециркуляцією газів). Система підігрівання металобрухту без рециркуляції газів має принциповий недолік. Її можливо використовувати лише для нагріву чистого брухту, що не містить масел, пластмас і інших речовин, які возгоняються при нагріві з появою великої кількості горючих газів з неприємним запахом. Такі гази не лише отруюють атмосферу цеху, але і, поступаючи в газовідвідний тракт,

без допалювання, можуть створити вибухонебезпечну ситуацію, а також погіршує ефективність роботи газоочисних пристроїв. Тому краще використовувати підігрівачі шахтного типу, які оснащені пристроями рециркуляції пічних газів. При цьому гази, що мають на виході з шахти температуру нижче 850^0С, прямують назад в піч, де відбувається повне допалювання летучих вуглеводів і повторний нагрів газів за рахунок теплоти горіння електричних дуг. Це дозволяє забезпечувати стабільну температуру газів на вході в апарати газоочистки, а, отже, ефективну їх роботу і дотримання екологічних вимог.

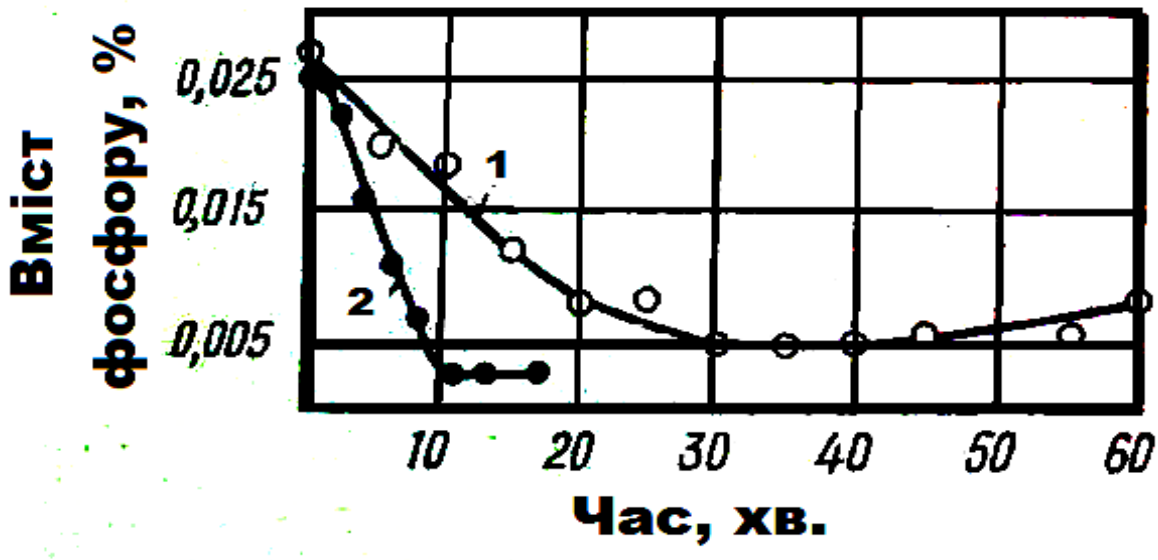
Найбільш перспективним вирішенням проблеми охолоджування та утилізації тепла газів, що відходять, є використання їх для попереднього нагріву завантажувального в електропіч брухту. Повернення частини втраченого тепла безпосередньо в технологічний процес плавки в принципі є найефективнішим методом утилізації, оскільки при цьому досягається не лише скорочення витрати електроенергії, але і значне збільшення продуктивності ДСП.

2.3 Визначення впливу продувки металу порошками в окислювальний і відновний періоди плавки на витрати при виробництві електросталі

Одним з найбільш ефективних способів зниження витрат при виробництві електросталі є виплавка її в дугових електропечах з використанням методу вдування порошкоподібних матеріалів одночасно в окислювальний і відновний періоди. Така технологія дозволяє істотно скоротити ресурсо- та енерговитрати при виробництві електросталі, а також успішно вирішити завдання швидкісного рафінування металу від фосфору і сірки. Основні положення технології наступні.

Окислювальний період. Шлакоутворюючі в завалення не додають. Продування металу дефосфоруючою сумішшю порошків з вапна, залізняку і плавикового шпату в співвідношенні 7 : 2 : 1 з фракцією <1,00 мм починають після повного розплавлення шихти, відбору проби на хімічний аналіз і досягнення температури металу 1540-1560^{0}С. При цьому шлак періоду плавлення, як правило, не викачується. Як фурма використовується труба, футерована шамотними котушками. Фурму через робоче вікно вводять в піч, не занурюючи в метал. При виході порошку з фурми вона занурюється в метал на глибину близько 200 мм під кутом 30^0. Інтенсивність вдування порошку 4,5-6,0 кг/(т·хв.), надлишковий тиск в пневмонагнітачі складає не менше 5-6 атм.

За 5-7 хвилин продування вміст фосфору в металі знижується з 0,030-0,035% до 0,003-0,005%. Після закінчення продування порошком без переривання процесу і скачування шлаку здійснюється продування металу чистим киснем до заданого вмісту в металі вуглецю. В процесі продування металу чистим киснем шлак самопливом при нахилі печі у бік робочого майданчика сходить в шлаковню.



1 - плавки за технологією, що діє;

2 - плавка за технологією з продуванням порошками

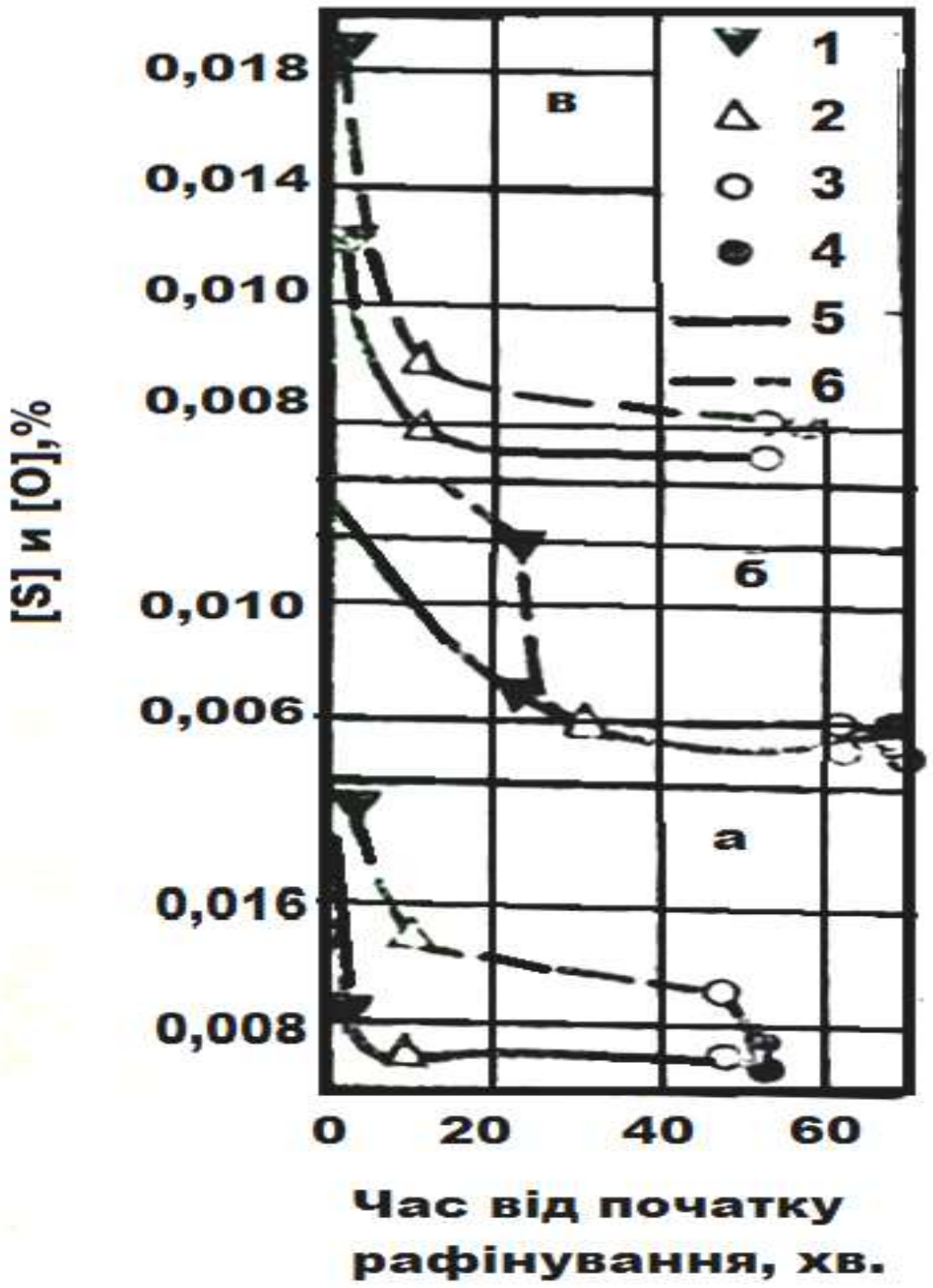
Рисунок 2.3 - Зміна вмісту фосфору в металі по ходу продування порошкоподібною сумішшю в 10-т печі

При продуванні металу порошками мінімальний вміст фосфору в металі менше 0,005% досягається за 7-8 хвилин. При подальшому продуванні чистим киснем фосфор не відновлюється. Вміст фосфору в готовому металі складає 0,006-0,010%.

Відновний період. Окислювальний період закінчують з температурою металу не менше 1600-1640 ^{0}C, враховуючи охолоджуючу дію подальшого продування аргоно-порошковим струменем. Коротке і швидке проведення окислювального періоду знижує окисленність активного шару подини печі і сприяє тим самим повнішому і стабільнішому засвоєнню розкислювачів і легуючих в період рафінування .

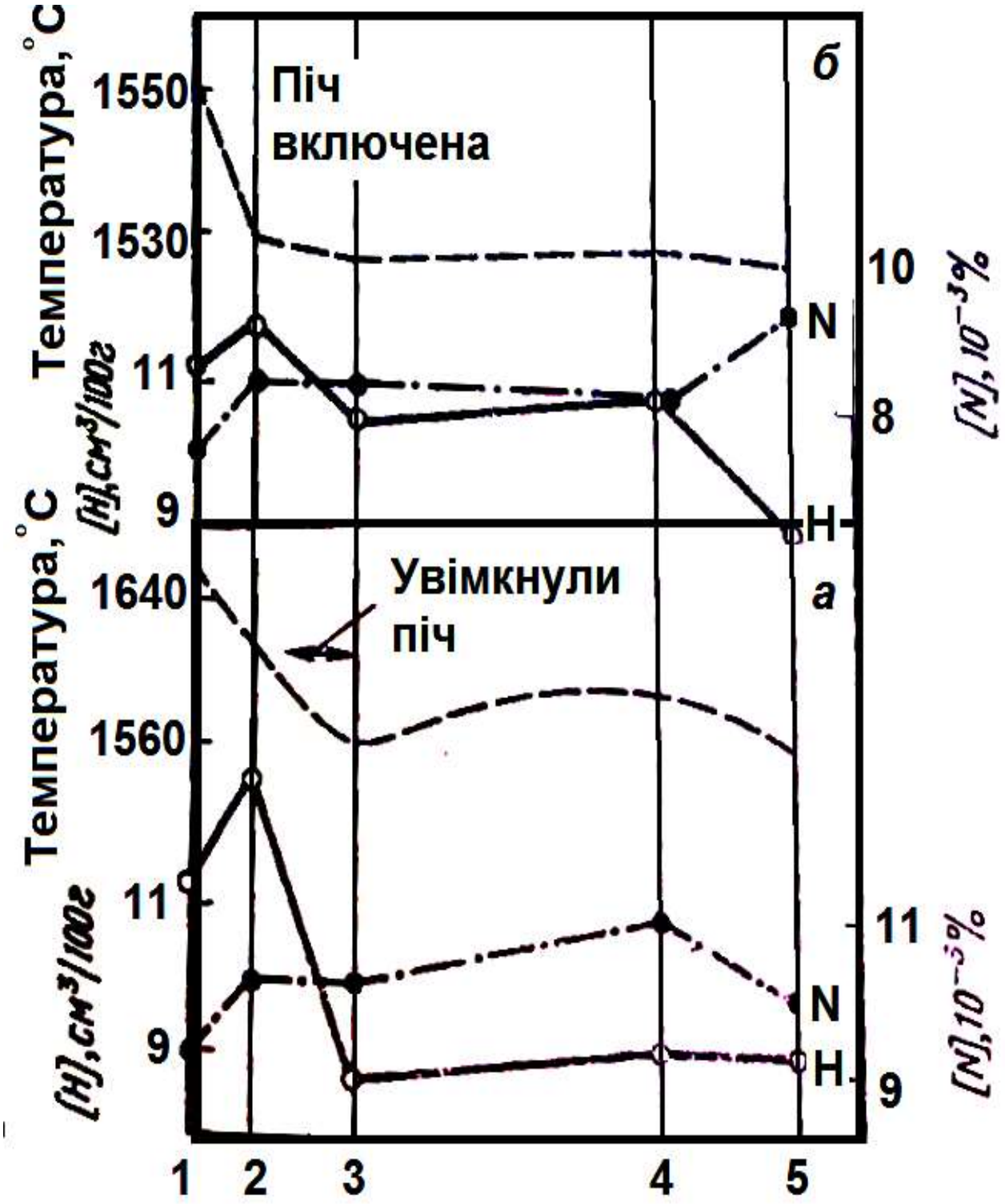
Після скачування окислювального шлаку виконують глибинне розкислювання ванни присадкою алюмінію на штанзі та кускового феросиліцію. Потім досаджують легуючі (ферохром) з розрахунку попадання в заданий аналіз. Безпосередньо за введенням вказаних матеріалів починають продування металу аргоно-порошковим струменем. В якості рафінуючого та одночасно шлакоутворюючого матеріалу використовують порошкоподібну суміш (<1,0 мм) вапна з 20% плавикового шпату або з 10% шпату і 20% шамоту. Витрата суміші складає 3,5-4,0% від маси металу, витрата аргону 1,0-1,2 м^3/т.

При виплавці низьковуглецевої сталі піч в ході продування відключають щоб уникнути навуглецювання металу. Після закінчення продувки, тривалість якої складає 4-6 хв., включають піч і протягом 5 хвилин прогрівають метал і сформований шлак. Заміряють температуру і відбирають проби на хімічний аналіз. Потім розкислюють шлак і готують його для зливу в ківш спільно з металом. Після отримання хімічного аналізу і за відсутності необхідності додаткового легування плавку випускають. При виплавці високовуглецевих сталей алюміній перед випуском не дають. Тривалість відновного періоду складає при цьому 35-60 хв.



а, б - кускове розкислювання з подальшим продуванням на початку і середині рафінування; в - продування нерозкисленого металу порошкоподібними розкислювачами на початку рафінування; 1 - початок продування; 2 - кінець продування; 3 - перед випуском; 4 - в ковші; 5 - кисень; 6 - сірка

Рисунок 2.4 - Кінетика видалення сірки і кисню у відновний період електроплавлення



а - плавка з розкислювачем CaO; б - плавка з розкислювачем CaO, силікокальцієм, алюмінієм; 1 - після скачування окислювального шлаку; 2 - перед продуванням; 3 - після продування; 4 - перед випуском: 5 - в ковші

Рисунок 2.5 - Поведінка азоту і водню у відновний період електроплавлення

На рис. 2.4 і 2.5 показані характерні кінетичні криві видалення кисню, сірки і газів по ходу рафінування. Слід зазначити, що в ході звичайного рафінування сталі низькі концентрації кисню досягаються лише до 40-ої хвилини; при продуванні ж аргоно-вапняним струменем ці концентрації можуть бути отримані вже в ході продування, через 5-10 хвилин після введення кускових розкислювачів. На рис. 2.4 видно також, що сірка в основному видаляється під час продування (при використанні чистого вапна і сумішей $CaO-CaF_2$) і в ковші, причому швидкість десульфурації в ці моменти найбільша. Взагалі незалежно від вихідного вмісту сірки перед випуском її концентрація в ковшовій пробі знижується до 0,004-0,006%. Згідно даним рис. 2.5 вміст водню і азоту в металі зростає до закінчення окислювального періоду перед початком продування (5-10 хв.); в ході продування відбувається дегазація металу, а далі, по ходу рафінування, аж до випуску метал знов поглинає азот і водень в невеликих кількостях.

Ця обставина вказує на необхідність проведення рафінування в можливо коротший проміжок часу. Тривале рафінування не може розглядатися також як спосіб очищення ванни від неметалічних включень, оскільки, згідно з отриманими даними, їх вміст від моменту закінчення продування до випуску або залишається незмінним, або декілька зростає (унаслідок присадки розкислювачів і легуючих для коректування складу сталі).

Технологія виплавки сталі в електропечах з продуванням порошкоподібними матеріалами в окислювальний і відновний періоди має наступні переваги:

1. Скорочується час окислювального (до 30 хв.) і відновного періодів (на 40 хв.). При цьому підвищується продуктивність печі на 15-20%;

2. Знижується витрата електроенергії на 100 кВт·год./т;

3. Залишковий вміст фосфору в кінці продування складає 0,003-0,005%, сірки 0,004-0,007%;

4. Видаляється до 15-30% розчинених в сталі азоту і водню (за умови, що порошкоподібна суміш містить не більше 1% вологи);

5. Відбувається прискорене очищення сталі від неметалічних включень: їх вміст знижується приблизно в 2 рази до кінця продувки;

6. Виключається ручна операція по присадці вапна і залізної руди, зменшується витрата шлакоутворюючих матеріалів і значно знижується трудомісткість роботи біля печі;

7. Інтенсивне перемішування забезпечує швидке і рівномірне розчинення легуючих елементів у ванні; це дозволяє відбирати показні проби після продування і знижувати брак по хімічному аналізу. З'являється можливість виплавки сталі з вужчими межами по хімічному складу, що дає економію розкислювачів і легуючих матеріалів;

8. Метал, що виплавляється, характеризується щільною макроструктурою і низьким середнім балом по сульфідах в порівнянні із звичайним металом.

ВИСНОВКИ

Дослідження показало, що найбільш прийнятними засобами зниження ресурсо- та енерговитрат для вітчизняного електросталеплавильного виробництва є такі, як використання прес-ножиць для підготовки металобрухту, попередній підігрів шихти та продування металу порошками в окислювальний і відновний періоди плавки. Ці методи відрізняються достатньо простим апаратурним і технологічним оформленням. Вони ефективно знижують витрати при виробництві електросталі, а також позитивно впливають, як на фізико-хімічні процеси, так і на техніко-економічні показники плавки.

3 ОСНОВНІ НАПРЯМИ ПОДАЛЬШОГО ВДОСКОНАЛЕННЯ ЕЛЕКТРОСТАЛЕПЛАВИЛЬНОГО ВИРОБНИЦТВА ЗА РАХУНОК ЗНИЖЕННЯ РЕСУРСО- ТА ЕНЕРГОВИТРАТ

У основі концепції енергозбереження лежить ідея використовувати всі можливі чинники, що впливають на витрату і вартість електроенергії, яка витрачається на виробництво рідкої сталі (рис. 3.1): використання тепла газів, що відходять, для підігрівання шихти перед плавкою; часткове заміщення дорогої електроенергії на більш дешеву; ведення плавки на раціональних енерготехнологічних режимах і максимальне використання потужності пічного трансформатора при роботі плавильної печі спільно з рафінувальною установкою ківш-піч, вживання маніпуляторів, газокисневих пальників, короткої мережі з елементами, що знижують електричні втрати; конструктивні рішення по донному випуску металу, що забезпечують швидкий випуск плавки, зменшення довжини кабельної гірлянди, збільшення водоохолоджуваної площі стін.

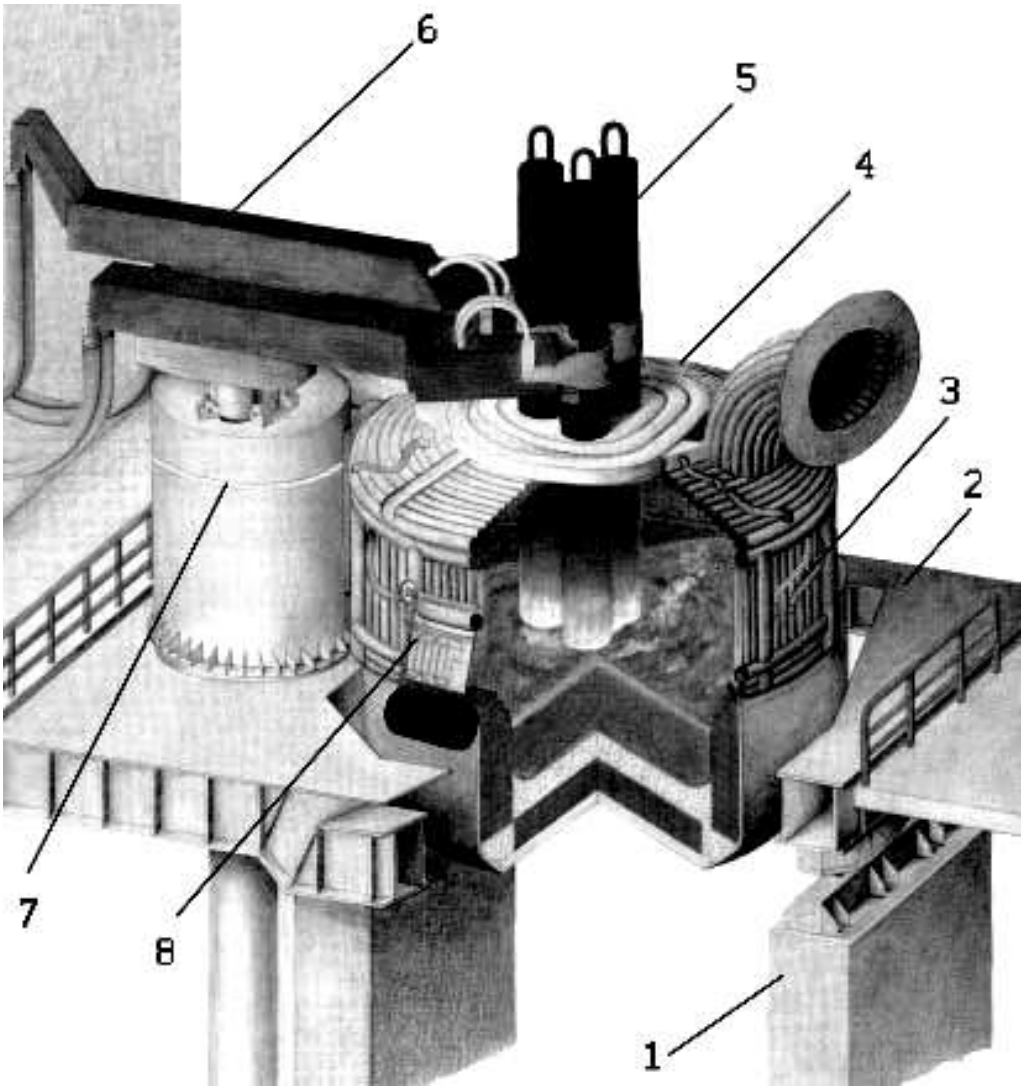


1 - тривалість циклу плавки; 2 – питома витрата електроенергії; 3 - питома витрата електродів

Рисунок 3.1 - Розвиток електросталеплавильного виробництва з використанням нових розробок

Пристрій сучасної дугової електропечі включає (рис. 3.2):

- механічну конструкцію;
- електричну частину;
- устаткування подачі в робочий простір технологічних газів, порошкоподібних і кускових матеріалів;
- систему евакуації відходів виробництва і газоочистку;
- автоматизовану систему управління технологічним процесом.



1 - фундамент; 2 - похила платформа; 3 - корпус печі; 4 - склепіння печі; 5 - графітовані електроди; 6 - рукава електродотримачів; 7 - підйомно-поворотний механізм зведення та електродів; 8 - робоче вікно

Рисунок 3.2 – Конструкція сучасної дугової сталеплавильної печі

Конструкція корпусу сучасної електропечі забезпечує виконання наступних технологічних вимог до виробництва сталі:

- випуск плавки в ківш з надійним відсіченням пічного шлаку при залишку оптимальної кількості рідкого металу в печі;
- широке вживання водоохолоджуваних елементів;
- раціональне розміщення технологічного устаткування;
- мінімальну тривалість простою печі при заміні кожуха;
- розділення корпусу печі для зменшення вантажопідйомності мостового крану;
- мінімальна витрата вогнетривких матеріалів і якісний холодний ремонт футерування.

Завантаження шихти відбувається через шахту, що встановлюється над піччю або поряд з нею. Це дозволяє нагрівати брухт газами, що відходять, а також тримати зведення печі впродовж всієї плавки закритим. Для завантаження брухту застосовується лоток на підйомнику, який зв'язує шихтовий проліт і шахту печі. нагрів кожної порції брухту відбувається в шахті окремо, протягом близько 9 хв., після чого нагрітий брухт скидається в робочий простір печі шляхом відкриття двостороннього пальцьового захвату. Проектні показники роботи такої печі з масою плавки 100 т по випуску при завантаженні брухту трьома порціями наступні: витрата електроенергії 280 кВт·год./т, тривалість плавки 33 хв., тривалість роботи під струмом 30 хв. при потужності трансформатора 80 МВА. Такий короткий час безструмових пауз пояснюється можливістю завантаження печі без відключення електроенергії. Піч працює з великим болотом, приблизно 70% від маси випуску. Для поліпшення умов теплопередачі усередині ванни металу при такому великому болоті ДСП забезпечена донними продувальними фурмами, які дозволяють перемішувати метал [4].

По периметру кожуха знаходяться декілька технологічних вікон для установки стаціонарних стінних паливно-кисневих пальників, інжекторів для подачі порошкоподібних матеріалів, а також отвір в кришці еркера для

обслуговування сталевипускного отвору. Нові можливості з'явилися завдяки використанню пальників, розташованих в холодних зонах ванни і в робочому вікні (рис. 3.3). Пальники можуть працювати на будь-якому органічному паливі. Поєднання роботи полум'яних пальників і електричних дуг дозволяє оптимізувати вибір джерела енергії, що істотно важливо в разі наявних обмежень підведення електричної потужності. Апаратне оформлення пристроїв подачі в робочий простір природного газу для роботи паливно-кисневих пальників, азоту та (або) аргону для перемішування ванни рідкого металу, кисню, порошкоподібних і кускових матеріалів та ін. залежить від конкретних умов, тому визначається індивідуально для кожної конкретної печі.

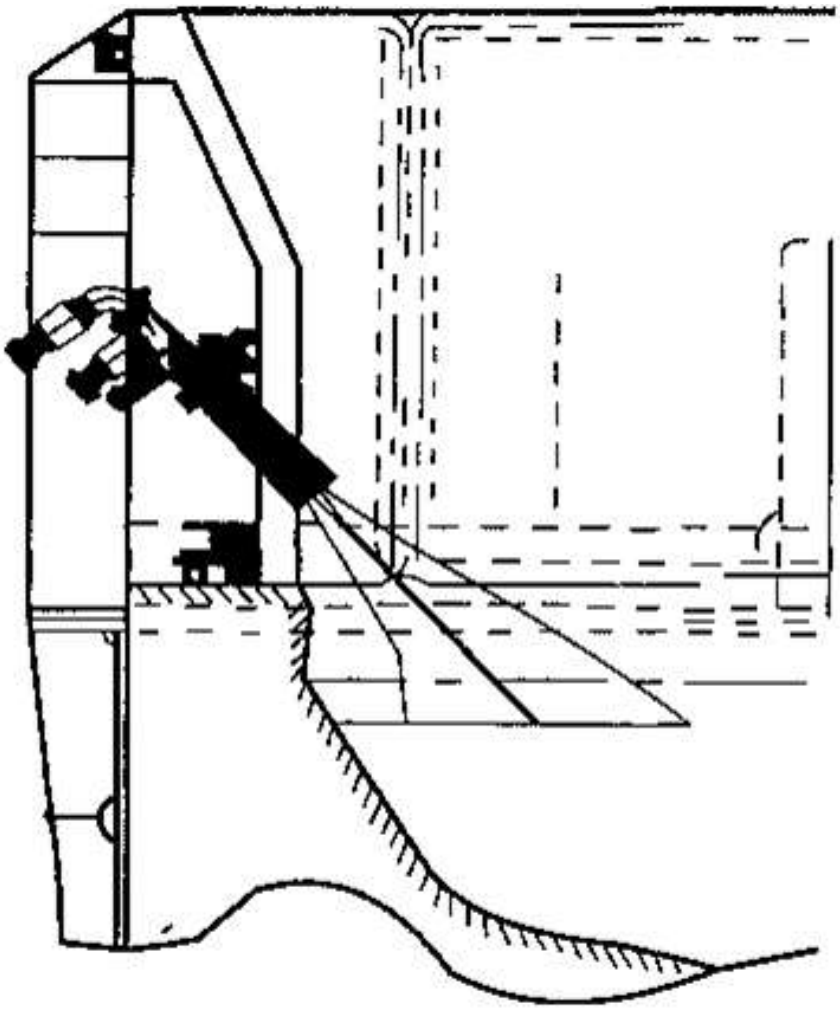


Рисунок 3.3 – Кисневий пальник

Вживання кисню в електросталеплавильному виробництві останніми роками знаходить широке поширення. Причинами цього є можливості застосовувати газоподібний кисень і отримувати додаткову енергію з реакцій супутніх елементів з киснем в брухті та металевій шихті. З веденням процесу на довгій дузі в електропечах постійного струму, а також в печах змінного струму виникла необхідність занурювати дугу в шлак для захисту футерування печі. З цією метою пропонується технологія пінистого шлаку, для якої необхідно застосовувати той же кисень і вугільний порошок. При цьому витрати можна скоротити шляхом підвищення коефіцієнта використання термічної енергії при зменшенні витрати електродів.

Випуск сталі відбувається досить ефективним ексцентричним способом безшлакового випуску металу з ванни печі, що дозволило, окрім продуктивного безшлакового випуску металу, зменшити кут нахилу печі з відповідним зменшенням довжини гнучких кабелів і зручністю обслуговування випускного отвору. Платформа спирається на два опорні сегменти, які забезпечують можливість нахилу корпусу до 12 - 15° в обидві сторони для забезпечення скачування шлаку через поріг робочого вікна і випуску сталі через отвір в еркері печі. При цьому знижуються витрати енергії і збільшується надійність роботи системи випуску. Система випуску дозволяє збільшити об'єм печі на 12%, отримати більший об'єм рідкого металу при тому ж діаметрі кожуха, здійснити керований випуск.

Енергетичний баланс виробництва сталі в сучасних печах приведений на рисунку 3.4.

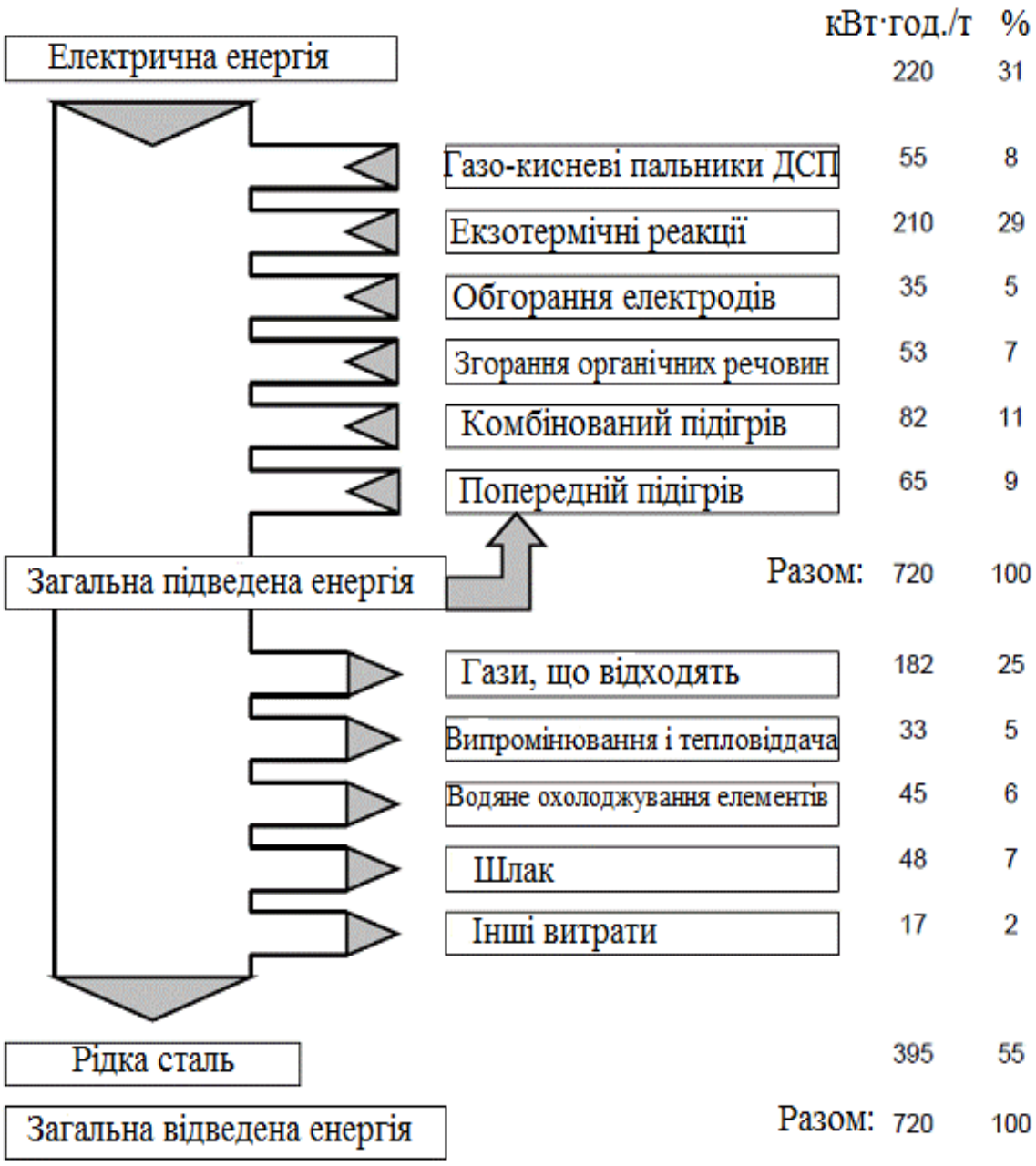


Рисунок 3.4 – Енергетичний баланс виробництва сталі в сучасних умовах

Енергетичний баланс дугової електропечі, поряд з технологічним аспектом, значною мірою характеризує її технічний рівень - раціональну архітектуру, швидкодію механізмів, автоматизацію технологічних операцій і надійність роботи пристроїв.

ВИСНОВКИ

У розділі 3 була проаналізована робота сучасної ДСП при впровадженні декількох найефективніших методів інтенсифікації електросталеплавильного виробництва.

Технічні рішення і технологічні прийоми виробництва сталі в сучасній дуговій печі:

- початок плавлення брухту із залишком порції металу попередньої плавки - «болота»;
- вживання паливно-кисневих пальників не стільки як альтернативного джерела енергії, скільки для прискореного плавлення брухту в «холодних» зонах робочого простору печі;
- прагнення працювати з довгою дугою, яка максимально заглиблена під рівень пінистого печного шлаку;
- широке вживання технічного кисню;
- еркерний безшлаковий випуск сталі;
- безперервне пневматичне перемішування ванни рідкого розплаву;
- виключення операції заправки ванни після кожної плавки за рахунок вживання водоохолоджуваних елементів стін і зведення і нових типів високоякісних периклазовуглецевих вогнетривів для ванни печі.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА

4.1 Аналіз небезпечних та шкідливих факторів на ділянці електродугової печі

Дугова піч постійного струму ємністю 50 т працює під випрямленою напругою максимум 650 В. Для живлення печі використовують тиристорні джерела постійного струму ТВ-10000/825. Потужність печі складає 40 МВт. Кожен електрод живиться від індивідуального агрегату, що випрямляє.

Небезпека роботи на електродуговій печі полягає у можливості ураження електричним струмом у разі дотику або наближення на небезпечну відстань до струмоведучих частин, що знаходяться під напругою; появи напруги дотику на металевих конструктивних частинах електроустаткування (корпусах, кожусі тощо); ушкодження ізоляції; помилкового включення обладнання та появи напруги на відключених струмопровідних частинах у місці, де працюють люди; виникнення напруги кроку на поверхні землі внаслідок замикання дроту на землю; прорив системи водяного охолодження та попадання води на ділянки установки, що знаходяться під напругою та інших причин. Перед поразок електричним струмом припадає до 40% смертельних нещасних випадків з виробництва, більшість поразок (до 80%) відбувається у електроустановках напругою до 1000 В (110-380 В).

Проходячи через живі тканини людини, електричний струм має термічну (опіки), електролітичну (електроліз) та біологічну дію. Розрізняють також механічні пошкодження впливу електричного струму. Це призводить до різних порушень в організмі, викликаючи як місцеве ураження тканин та органів, так і загальне ураження організму. Розрізняють два види уражень електричним струмом: місцеві електричні травми (електротравми) та електричний удар.

Електротравмами є ураження тканин та органів електричним струмом: опіки, електричні знаки (мітки), електрометалізація шкіри, електроофтальмія та механічні пошкодження. Приблизний розподіл електротравматизму: загальні електротравми – 25%, місцеві – 20% та змішані – 55%. Часто ці види електроуражень супроводжують один одного.

Електричні опіки (контактні та дугові) виробляють при значних струмах (більше 1 А) і займають переважну питому вагу (близько 65%) серед місцевих електротравм. Контактні опіки відбуваються при дотику до сильно нагрітих частин електроустаткування. Найбільш часто відбуваються дугові опіки при попаданні людини в зону дії електричної дуги, що виникає між струмопровідними частинами, в електроустановках до 1000; в електроустановках понад 1000 В – при випадковому наближенні до струмоведучих частин на небезпечну відстань, меншу та рівну розрядному.

Електричні знаки (мітки струму) виникають при хорошому контакті з струмопровідними частинами. Вони є припухлістю із затверділою у вигляді мозолі шкірою жовтувато-білого кольору круглої або овальної форми.

Електрометалізація шкіри – проникнення під поверхню шкіри частинок металу внаслідок розбризкування та випаровування його під дією струму.

Електроофтальмія – ураження очей внаслідок дії ультрафіолетового випромінювання електричної дуги.

Механічні пошкодження (забиті місця, переломи тощо) при падінні з висоти внаслідок різких мимовільних рухів або втрати свідомості, викликаних дією електричного струму.

Електричний удар спостерігається при дії малих струмів (зазвичай сотень міліампер) і при дрібних напругах, як правило, до 1000 В. при цьому відбувається ураження внутрішніх органів - струм діє на нервову систему та на м'язи, причому може виникати параліч уражених органів. Розрізняють чотири групи електричних ударів: судомне скорочення м'язів (фібрил) без непритомності; судомне скорочення м'язів із втратою свідомості; втрата

свідомості та порушення серцевої діяльності або дихання (або того й іншого разом); клінічна смерть (відсутність дихання та кровообігу). Електричні удари спричиняють 85-87% смертельних поразок. Зупинці серця передує так званий стан фібриляції. Фібриляція серця полягає в безладному скороченні та розслабленні м'язових волокон серця. Електричний струм, що викликає такий стан, називається пороговим фібриляційним струмом. При постійному струмі він знаходиться в межах 300 мА - 5 А. При струмі більше 5 А відбувається негайна зупинка серця, минаючи стан фібриляції. Якщо через серце потерпілого пропускати короткочасно (частки секунд) струм 4 – 6 А, м'язи серця скорочуються і після відключення струму серце продовжує працювати.

Від ураження електричним струмом залежить в основному від наступних факторів:

1. Значення електричного струму: поріг відчуття струму – найменший відчутний струм – для постійного струму вище ніж змінного і становить 5 – 7мА; поріг відпускаючого струму – найменший струм, у якому людина не може самостійно звільниться від захоплених електродів дією тих м'язів, якими проходить струм (50 – 80 мА постійного струму). Найменші струми називають відпускаючими. Як довго допустимого струму приймають 10мА; смертельний струм – 100 мА та більше.

2. Рід та частота струму – постійний струм менш небезпечний ніж змінний, але при напрузі 300 В і вище його небезпека зростає. Постійний струм більшої величини при розриві ланцюга дає дуже різкі удари, що викликають судоми м'язів рук (при невеликих значеннях струму відчуття нагрівання тіла).

3. Опір тіла людини – змінна величина, що має нелінійну залежність від безлічі факторів, у тому числі стану шкіри, параметрів ланцюга, фізіологічних факторів і стану навколишнього середовища. Основним опором ланцюга струму через тіло людини є верхній роговий шар шкіри (епідерміс). При сухій непошкодженій та чистій шкірі опір тіла людини

коливається в межах від 3000 до 100000 Ом, а іноді й більше. При знятому роговому шарі шкіри опір внутрішніх тканин вбирається у 500 – 700 і навіть 300 – 500 Ом. Узаконеною величиною прийнято вважати 1000 Ом.

4. Розмір прикладеної напруги – одне із основних чинників, оскільки визначає значення струму. Від величини напруги залежать можливість пробою шкіри і наступне різке зниження загального опору тіла. Пробій епідермісу можливий при напрузі 50 В і вище, а напруга 200 завжди викликає пробою зовнішнього шару шкіри.

5. Шлях струму в тілі людини – найбільш небезпечне проходження струму через дихальні м'язи та серце.

6. Тривалість впливу - що вона менше, тим менша ймовірність збігу часу, протягом якого через серце проходить струм із фазою Т. Фаза Т – проміжок часу 0,15 – 0,2 з циклу роботи серця, як його найбільш чутливе до струму.

7. Індивідуальні особливості людей (стан нервової системи та всього організму загалом, маси людини, її фізичного розвитку).

Істотно впливає на безпеку умов середовища, від яких залежить стан ізоляції, а також електричний опір тіла людини. Усі приміщення з електроустановками поділяються на класи: без підвищеної небезпеки, підвищеної небезпеки та особливої небезпеки. Ознаки підвищеної небезпеки: наявність струмопровідних підлог; наявність вогкості (відносна вологість повітря вище 75 %) або пилу; підвищена температура повітря (більше +30ºС); можливість одночасного дотику людини до корпусів технологічного обладнання, що мають з'єднання із землею, з одного боку, або струмоведучих частин – з іншого. Ознаки особливої небезпеки: наявність особливої вогкості (відносна вологість повітря наближається до 100%); наявність хімічно активного середовища; наявність одночасно двох та більше ознак підвищеної небезпеки.

4.2 Заходи захисту від ураження електричним струмом

Основними заходами захисту від ураження електричним струмом є:

- забезпечення недоступності струмопровідних частин, що знаходяться під напругою, для випадкового дотику (проводи в ЕДП розташовані вище за рівень робочого майданчика);
- усунення небезпеки ураження при появі напруги на корпусах, кожухах та інших частинах електроустаткування, що досягається захисним заземленням, зануленням, захисним вимкненням;
- захист від випадкового дотику до струмовідних частин застосуванням кожухів, подвійної ізоляції;
- відключення печі перед довантаженням шихтових матеріалів та взяттям проб металу та шлаку;
- регулярний контроль та профілактика пошкодженої ізоляції;
- ізоляція інструменту, з якого здійснюється контакт персоналу з продуктами плавки в печі;
- застосування спеціальних електрозахисних засобів – переносних приладів та запобіжних пристроїв.

Так як електродугова піч знаходиться в приміщенні класу підвищеної небезпеки і працює при напрузі, що перевищує 110 В постійного струму, отже, обов'язково підлягає захисному заземленню.

Головне призначення захисного заземлення – знизити потенціал на корпусі електрообладнання до безпечної величини, щоб уникнути поразки людини та виникнення пожежі, оскільки струм замикання створює небезпечну напругу не тільки на самому обладнанні, а й біля нього, розтікаючись з основ та фундаментів.

Захисним заземленням називається навмисне електричне з'єднання із землею металевих нетокопровідних частин, які можуть опинитися під напругою. Корпуси та інші металеві нетоковедучі частини можуть опинитися під напругою при замиканні їх струмопровідних частин на

корпус. Якщо корпус при цьому не має контакту із землею, дотик до нього також небезпечний, як і дотик до фази. Якщо корпус заземлений, він опиниться під напругою Uз = Iз×rз, а людина, що стосується корпусу, потрапляє під напругу дотику Uпр = Uз×α_1×α_2. Струм через людину при цьому визначиться з виразу

$$Ih = Iз\frac{r_з}{R_h}\alpha_1 \times \alpha_2,$$

звідки видно, що менше $r_з$ і α_1, тим менше струм людини, що стоїть на землі та стосується корпусу обладнання. Таким чином, безпека забезпечується шляхом заземлення корпусу заземлювачем, що має малий опір заземлення $R_з$ та малий коефіцієнт напруги дотику α_1. Суть застосування захисного заземлення у тому, що переважна частина струму замикання землю пройде через заземлювач ($r_з$=4 Ом) і лише незначна частина – через тіло людини (опір тіла людини навіть у гірших умовах – R_h=1000 Ом) [60].

Захисне заземлення може бути ефективно у тому випадку, якщо струм замикання на землю не збільшується із зменшенням опору заземлення. У разі постійного струму це можливо у двопровідних мережах із ізольованою середньою точкою обмоток джерела струму.

Заземлювальний пристрій являє собою сукупність заземлювачів - провідників (електродів), з'єднаних між собою і що знаходяться в безпосередньому зіткненні із землею, і провідників, що з'єднують заземлюючі частини електроустановки із заземлювачем. Розміщення заземлювального пристрою контурне. З'єднання провідників, що заземлюють між собою, а також із заземлювачами та заземлюваними конструкціями виконуються, як правило, зварюванням, а з корпусами апаратів, машин та іншого обладнання – зварюванням або за допомогою болтів.

4.3 Розрахунок захисного заземлення на ділянці електродугової печі

Вихідні дані до розрахунку. Заземленню підлягає піч із максимальною випрямленою напругою 650 В. Грунт – суглинок. Заземлюючий пристрій є прямокутником розміром 8×12 м. Як вертикальні стрижні застосовані сталеві діаметром d=40 мм і довжиною l=2,5 м; сполучна смуга - сталева шина шириною b = 40 мм. Є природні заземлювачі з опором розтіканню R_e = 8,2 Ом. Глибина закладання контуру заземлення H_o=0,5м (H=l/2+H_o=2,5/2+0,5=1,75 м).

1. Розрахунковий струм замикання на землю: у мережах напругою до 1000 В струм однофазний замикання на землю не перевищує 10 А [62].

2. Необхідний опір розтіканню струму заземлювального пристрою:

електроустановках напругою до 1000 В воно повинно бути не вище 4 Ом [63], оскільки сумарна потужність джерел, підключених до мережі, перевищує 100 кВА.

Таким чином, $r_з \leq 4$ Ом

3. Розрахунковий питомий опір ґрунту.

Питомий електроопір суглинку

$$\rho_{про} = 40 \ldots 150 \text{ Ом м},$$

а при вологості 10 – 12 % до маси ґрунту

$$\rho_{про} = 100 \text{ Ом м},$$

та з урахуванням кліматичного коефіцієнта $\psi_з$, рівного 1,5 при середній вологості ґрунту (суглинка), розрахунковий питомий опір ґрунту складе

$$\rho_{\text{розрах}} = \psi_{\text{з}} \times \rho_{\text{про}} = 1{,}5 \times 100 = 150 \text{ Ом м}$$

4. Опір штучного заземлювача з урахуванням виконання умови $r_з \leq 4$ Ом:

$$R_H = \frac{R_e \times r_з}{R_e - r_з} = \frac{8{,}2 \times 4}{8{,}2 - 4} = 7{,}8 \quad \text{Ом}$$

5. Опір одиночного вертикального заземлювача за типовою (табличною) формулою

$$R_{ст.од} = \frac{\rho_{расч}}{2 \times \pi \times l}\left(\ln\frac{2l}{d} + \frac{1}{2}\ln\frac{4H + l}{4H - l}\right) =$$

$$= \frac{150}{2 \times \pi \times 2{,}5}\left(\ln\frac{2 \times 2{,}5}{0{,}04} + \frac{1}{2}\ln\frac{4 \times 1{,}75 + 2{,}5}{4 \times 1{,}75 - 2{,}5}\right) = 49{,}67 Ом$$

6. Опір сполучної смуги за типовою формулою

$$R_П = \frac{\rho_{расч}}{2 \times \pi \times l_П}\ln\frac{2l_П^2}{bH_o},$$

де lП = 8×2+12×2= 40 м – довжина сполучної шини, що дорівнює периметру прямокутника контуру заземлення:

$$R_П = \frac{150}{2 \times \pi \times 40}\ln\frac{2 \times 40^2}{0{,}04 \times 0{,}5} = 7{,}15 \text{ Ом}$$

7. Число вертикальних заземлювачів при розміщенні їх за контуром через кожні 2 м

n = 40/2 = 20 шт.; а = 2 м; а/l = 2/2,5

8. За даними пункту 7 визначаємо за таблицями коефіцієнти використання вертикальних стрижнів та сполучної смуги

$$\eta_{ст} = 0{,}4\,; \qquad \eta_{П} = 0{,}22$$

9. Опір одиночного вертикального заземлювача та сполучної смуги з урахуванням обраних коефіцієнтів використання стрижнів та смуги:

Rст.од = 49,67/0,4 = 124,2 Ом,

RП = 7,15/0,22 = 32,5 Ом

10. Необхідний опір розтіканню струму вертикальних стрижнів становитиме

$$R_{ст} = \frac{R_{П} \times R_{и}}{R_{П} - R_{и}} = \frac{32{,}5 \times 7{,}8}{32{,}5 - 7{,}8} = 10{,}3\,\text{Ом}$$

11. Уточнене число вертикальних стрижнів (електродів)

$$n = \frac{R_{ст.од}}{R_{ст}} = \frac{124{,}2}{10{,}3} \approx 12\,\text{шт.}$$

12. У мережах з великими струмами замикання на землю пристрої, що замикають, перевіряють на термічну стійкість. При цьому заземлювач повинен задовольняти такі вимоги:

12.1 $S > 0{,}00012\sqrt{\rho \times t}$,

де S – поверхня зіткнення заземлювача з ґрунтом, м2

$$S = S_{ст} + S_{П} = \left(2 \times \pi \times 0{,}02 \times 2{,}5 + \pi \times 0{,}02^2\right) \times 12 + \left(40 \times 0{,}04 \times 2 + 40 \times 0{,}003 \times 2\right) =$$
$$= 3{,}785 + 3{,}440 = 7{,}225;$$

ρ - питомий опір ґрунту в найбільш сухий період, Ом м

$$\rho = \rho_{\text{про}} \times \psi_{сух} = 100 \times 1{,}4 = 140$$

($\psi_{сух}$ =1,4 для суглинку при сухому ґрунті);

t – тривалість замикання на землю під час спрацьовування захисту, t приймається 9;

Тоді $7{,}225 > 0{,}00012\sqrt{140 \times 9}$,

$$7{,}225 > 0{,}004,$$

тобто. перша умова виконується

$$12.2 \quad S \geq \sqrt{\frac{I_з^2 \times t}{a \times \theta}},$$

де Із - Струм замикання на землю, А; Із = 10 А;

а - постійний множник (для сталі а = 21);

θ - допустима температура короткочасного нагріву, оС; для сталі θ =400 оС.

Тоді, $7{,}225 \geq \sqrt{\frac{10^2 \times 9}{21 \times 400}}$,

$$7{,}225 \geq 0{,}327,$$

тобто. друга умова виконується.

Таким чином, для забезпечення електробезпеки електродугову піч необхідно заземлити, а пристрій повинен містити 12 вертикальних

заземлювачів довжиною 2,5 м і діаметром 0,04 м. Принципова схема заземлення представлена на рисунку 4.1.

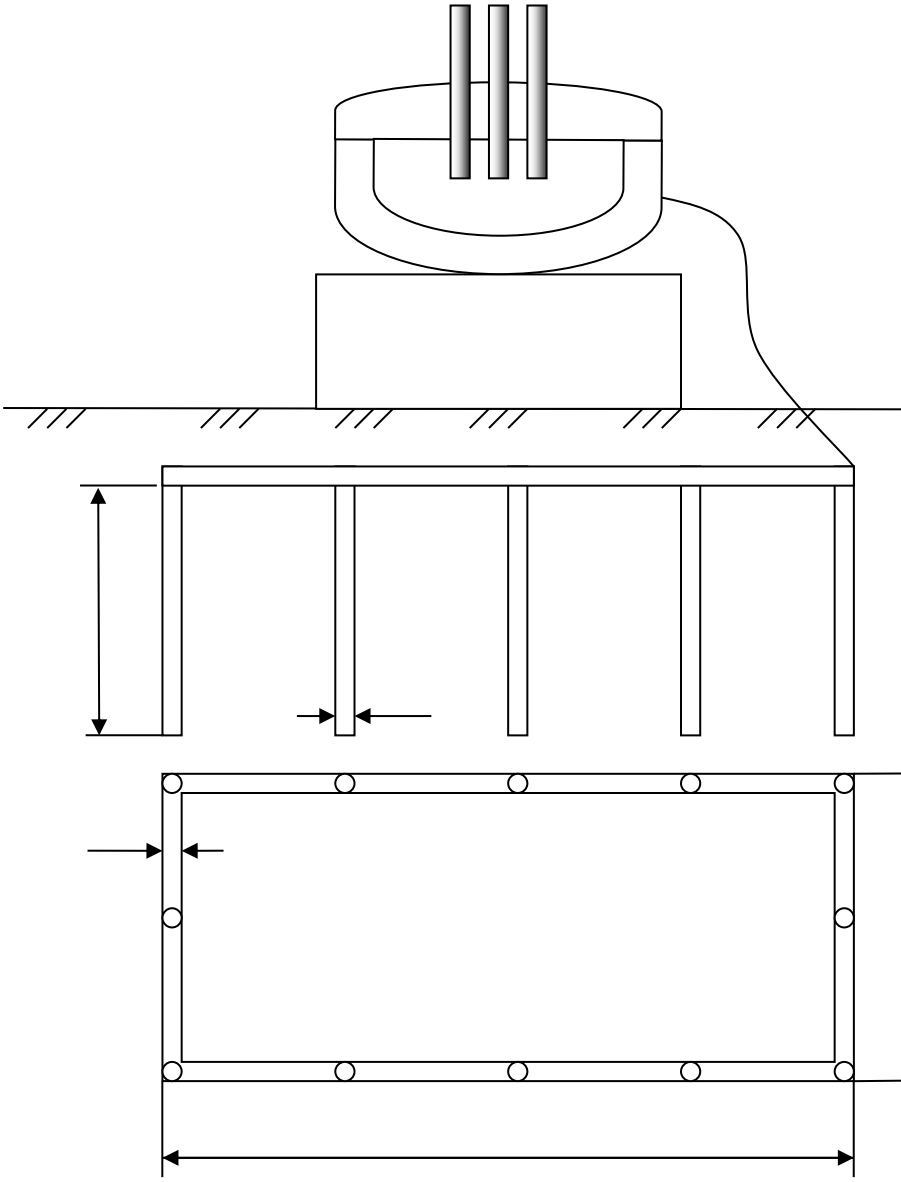


Рисунок 4.1 – Принципова схема заземлення на ділянці електродугової печі

ВИСНОВКИ

1. В даний час для електропечей розроблений ряд технологічних процесів, які дозволяють істотно інтенсифікувати їх роботу, скоротити питому витрату електроенергії і одночасно забезпечити високу якість металу. Серед них: інтенсивне вживання кисню як для продування рідкої ванни, так і в паливно-кисневих пальниках, що встановлюються в стінах і склепінні печей, продування інертними газами, вдування матеріалів, що містять вуглець, спінювання шлаку, використання в заваленні металізованих окатишів або до 25-30 % рідкого чавуну, допалювання СО безпосередньо в робочому просторі печі, підігрівання шихти в печі і в автономних установках, використання електродів з надщільним струмопровідним покриттям в місцях контакту, еркерний випуск металу та ін.
2. Найбільш прийнятними засобами зниження ресурсо- та енерговитрат для вітчизняного електросталеплавильного виробництва є: використання прес-ножиць для підготовки металобрухту, попередній підігрів шихти та продування металу порошками в окислювальний і відновний періоди плавки. Дослідження показало, що кожен з цих методів ефективно знижує витрати при виробництві електросталі, а також покращує техніко-економічні показники плавки.
3. Аналіз існуючих технологій зниження ресурсо- та енерговитрат показав, що ці заходи дозволяють понизити ресурсовитрати і середні питомі витрати електроенергії на плавку (з 700 - 800 кВт·год./т до 400-500 кВт·год./т і менш), і відповідно зменшити собівартість продукції, а також дозволяють скоротити цикл плавки до 30 – 50 хв. та поліпшити техніко-економічні показники плавки.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Основи металургійного виробництва металів і сплавів : підручник для металург. спец. вищ. навч. закл. / Д. Ф. Чернега, В. С. Богушевський, Ю. Я. Готвянський [та ін.] ; за ред. Д. Ф. Чернеги, Ю. Я. Готвянського. Київ : Вища школа, 2006. 503 с.
2. Дурягіна З. А., Лизун О. Я., Пілюшенко В. Л. Сплави з особливими властивостями : навч. посіб. для студ. вищ. навч. закладів. Львів : Львівська політехніка, 2007. 236 с.
3. Теорія будови рідкого, аморфного і кристалічного стану (об'єм поверхні та поверхня в об'ємі) : монографія / М.М. Бережний та ін. Кривий Ріг : «Мінерал», 2007. 291 с.
4. Смірнов О. М., Макуров С. Л., Сафонов В. М. Виробництво зливків сталі та промислових сплавів : навч. посіб. Донецьк : Ноулідж, 2013. 405 с.
5. Попович В. В., Попович В. В. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство. Львів : Світ, 2006. 624 с.
6. Атаманюк В. В. Технологія конструкційних матеріалів. Київ : Кондор, 2006. 528 с.
7. Технології одержання металів та сплавів для ливарного виробництва : навч. посіб. / А. М. Верховлюк, А. В. Нарівський, В. Г. Могилатенко. За ред. академіка НАН України В. Л. Найдека. Київ : Видавничий дім "Вініченко", 2016. 224 с.
8. Збожна О. М. Основи технологій : навч. посіб. Тернопіль : Картбланш, 2002. С. 30–58.
9. Смирнов В. О., Білецький В. С. Фізичні та хімічні основи виробництва. Київ : Наука, 2005. С. 45−48.
10. Афтанділянц Є. Г., Зазимко О. В., Лопатько К. Г., Поліщук А. В. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство. Конспект лекцій в 2-х книгах. Київ: НУБіП України, 2016. 125 с.

11. Сологуб М. А., Рожнецький І. О., Некоз О. І. Технологія конструкційних матеріалів та матеріалознавство. Київ : Техніка, 2002. С. 374.

12. Попович В. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство. Книга І. Львів. 2000. С. 264.

13. Попович В., Голубець В. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство. Книга ІІ. Суми : Університетська книга, 2002. С.259.

14. Сталеплавильне виробництво: навч. посіб. / В.І. Баптизманський та ін.]. Київ : ФЗМН, 1996. 400 с.

15. Сборник технологических инструкций по выплавке стали в открытой дуговой печи. Запорожье : ОАО «Днепроспецсталь», 2004. 245 с.

16. Державні санітарні правила "Підприємства чорної металургії" ДСП 3.3.1.038-99.

17. Наказ МОЗ від 14.07.2020 № 1596 «Про затвердження гігієнічних регламентів допустимого вмісту хімічних і біологічних речовин у повітрі робочої зони».

18. Наказ МОЗ України «Про затвердження гігієнічних регламентів допустимого вмісту хімічних і біологічних речовин у повітрі робочої зони» 14.07.2020 № 1596.

19. ДСТУ 2867-94 Шум. Методи оцінювання виробничого шумового навантаження. Загальні вимоги.

20. ГОСТ 12.1.012-90. ССБТ. Вібраційна безпека. Загальні вимоги.

21. ДСТУ 3038-95 Гігієна. Терміни та визначення основних понять.

22. ДСТУ ГОСТ 12.4.221:2004 Система стандартов безопасности труда. Одежда специальная для защиты от повышенных температур теплового излучения, конвективной теплоты. Общие технические требования (ГОСТ 12.4.221-2002, IDT).

23. НПАОП 40.1-1.01-97 Правила безопасной эксплуатации электроустановок (ДНАОП 1.1.10-1.01-97).

24. СНиП 2.01.02-85*. Протипожежні норми (Діє ДБН В 1.1-7-2002) (2.01.02-85*) (СНиП 2.01.02-85*. Противопожарные нормы (Действует ДБН В 1.1-7-2002)).

25. ДБН В.2.5-28:2018. Природне і штучне освітлення.

26. ДБН В.2.5-67:2013 Опалення, вентиляція та кондиціонування.

ДОДАТОК А

ПУБЛІКАЦІЇ ЗА ТЕМОЮ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Міністерство освіти і науки України
Запорізький національний університет
Інженерний навчально-науковий
інститут ім. Ю. М. Потебні

ІНЖЕНЕРНІ ІННОВАЦІЇ ТА РОЗБУДОВА НАЦІОНАЛЬНОЇ ЕКОНОМІКИ

Матеріали
І Міжнародної науково-практичної конференції
Інженерного навчально-наукового інституту
ім. Ю. М. Потебні

09–10 травня 2024 року

Видавничий дім
«Гельветика»
2024

УДК 001.895:62+330.341.1(477)(062.552)
І-62

Редакційна колегія:

В. В. Храпкіна, доктор економічних наук, професор, професор кафедри маркетингу та управління бізнесом, Національний університет «Києво-Могилянська академія» (м. Київ);

О. Г. Вагонова, доктор економічних наук, професор, завідувач кафедри прикладної економіки, підприємництва та публічного управління, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка» (м. Дніпро)

Рекомендовано до друку
Рішенням Вченої ради Запорізького національного університету
(протокол № 14 від 27 червня 2024 року)

І-62 **Інженерні інновації та розбудова національної економіки** : матеріали І Міжнародної науково-практичної конференції Інженерного навчально-наукового інституту ім. Ю. М. Потебні (09–10 травня 2024 року, м. Запоріжжя) / наук. ред. Н. Г. Метеленко ; Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю. М. Потебні Запорізького національного університету. – Одеса : Видавничий дім «Гельветика», 2024. – 1020 с.

ISBN 978-617-554-288-0

У виданні представлені тези доповідей учасників І Міжнародної науково-практичної конференції «Інженерні інновації та розбудова національної економіки» (09–10 травня 2024 року), підготовлені за такими базовими тематичними напрямами, як: Цифрова трансформація економіки України: Industry 4.0, інноваційне підприємництво, національна безпека; Європейські інтеграційні процеси розбудови національної економіки: фінанси, оподаткування, страхування; Фізична електроніка та біоінженерія: тренди розвитку; Інженерна екологія. Сучасні технології кольорової та чорної металургії; Інновації в інженерії програмного забезпечення; Електрична інженерія: відновлювані джерела енергії, «зелена» воднева енергетика, інтеграція в енергетичну інфраструктуру Європи; Архітектура та будівництво: фундатор сучасних будівельних технологій; Механічна інженерія: сучасне обладнання та новітні технології в промисловості; Філософія управління та адміністрування: ризик-менеджмент і цифровізація на макро- і мікрорівнях; Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка: сучасні виклики.

УДК 001.895:62+330.341.1(477)(062.552)

© Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю. М. Потебні Запорізького національного університету, 2024
© Автори статей, 2024

ISBN 978-617-554-288-0

УДК 669.187:502.171

Зубенко Євген Вікторович
магістрант, 1 курс, кафедра металургійних технологій, екології та техногенної безпеки, Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю. М. Потебні Запорізького національного університету

Воляр Роман Миколайович
к. т. н., доцент, доцент кафедри металургійних технологій, екології та техногенної безпеки, Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю. М. Потебні Запорізького національного університету

Кириченко Олексій Геннадійович
к. т. н., доцент, доцент кафедри металургійних технологій, екології та техногенної безпеки, Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю. М. Потебні Запорізького національного університету

ДОСЛІДЖЕННЯ ОСНОВНИХ МЕТОДІВ ПО ЗНИЖЕННЮ РЕСУРСО- І ЕНЕРГОВИТРАТ ПРИ ВИПЛАВЦІ ЕЛЕКТРОСТАЛІ

Актуальність. В даний час однією з основних тенденцій розвитку металургії є випереджаючий розвиток електропічного способу виробництва сталі.

Електросталеплавильне виробництво – це здобуття якісних і високоякісних сталей в електричних печах, що володіють істотними перевагами в порівнянні з іншими сталеплавильними агрегатами, тому останнім часом електрометалургія стає все більш розвиненою гілкою металургії. Хоча велика витрата енергії і збільшує вартість металу, але вигоди від підвищення його якості перекривають все. Зниження матеріало- і енергоємності продукції є найважливішими завданнями будь-якого виробництва.

Аналіз останніх досліджень. Найбільш повно інформація щодо цього питання представлена у роботах [1; 2].

Мета. Дослідити основні методи по зниженню ресурсо- і енерговитрат при виплавці електросталі.

Основний текст. Порційний нагрів металобрухту в завантажувальних баддях дозволяє понизити втрати тепла з газами, що відходять, і, певною мірою, сприяє енергозбереженню. Так, згідно з оцінкою, питома витрата електроенергії в результаті вживання технології знижується на 20–40 кВт·год/т.

Проте підігрітий металобрухт в період завантаження в піч виділяє дим, забруднюючи атмосферу в цеху, а виділення шкідливих речовин на виході з системи газоочистки створює умови для забруднення довкілля. Вирішення цієї проблеми було знайдено в застосуванні завантажувальної бадді з жароміцної антикорозійної сталі без істотних змін їх конструкції. Надійні ущільнювачі на вході гарячих газів в завантажувальну баддю повинні забезпечити прохід газів лише через шар брухту і запобігти обхідному їх руху по стінах камери нагріву. Для поліпшення проходу димових газів і видалення масел і інших рідких продуктів, які утворюються при нагріві брухту, бадді в нижній частині мають отвори. Установки оснащені засобами виміру і контролю параметрів газу. Регулювання витрати димових газів здійснюється автоматично залежно від їх температури на виході з камери нагріву. Установки оснащені регулюючими і відсічними клапанами, що працюють в умовах запилених газів при температурі до 800–850 °С. Встановлено, що при підігріванні брухту в спеціальній бадді 45 % тепла газів, що відходять, витрачається на нагрів металобрухту та бадді, 37 % – втрачається з водою охолоджуваних елементів і 18 % – з газом, що видаляється. Нагрівають металобрухт зазвичай до середньомасової температури 250–350 °С при температурі газу на вході 400–800 °С.

У таблиці 1 приведені показники роботи електропечі з підігрівачем брухту в бадді та без підігріву металобрухту.

Таблиця 1

Показники роботи ДСП з підігрівачем брухту в бадді та без підігріву металобрухту

Показники	Холодний брухт	Нагрітий брухт
Місткість печі, т	100	100
Маса плавки, т	90	90
Витрата електроенергії, кВт·год./т	330	260
Витрата кисню, м³/т	41,6	35
Природний газ, м³/т	8	7
Матеріали, що вдуваються: кг/т вуглецевий порошок вапно	 9 33	 9,8 32
Питома витрата електродів, кг/т	1,1	0,9
Тривалість плавки, хв	42	39
Тривалість роботи під навантаженням, хв	36	30
Годинна продуктивність, т/год.	127	138

На печах такої конструкції використовують дві схеми евакуації печних газів: за першою схемою димові гази відводяться безпосередньо на газоочистку (система без рециркуляції газів); за другою схемою гази повертаються в камеру допалювання (система з рециркуляцією газів). Система підігрівання металобрухту без рециркуляції газів має принциповий недолік. Її можливо використовувати лише для нагріву чистого брухту, що не містить масел, пластмас і інших речовин, які возгоняються при нагріві з появою великої кількості горючих газів з неприємним запахом. Такі гази не лише отруюють атмосферу цеху, але і, поступаючи в газовідвідний тракт, без допалювання, можуть створити вибухонебезпечну ситуацію, а також погіршує ефективність роботи газоочисних пристроїв. Тому краще використовувати підігрівачі шахтного типу, які оснащені пристроями рециркуляції печних газів. При цьому гази, що мають на виході з шахти температуру нижче 850 °С, прямують назад в піч, де відбувається повне допалювання летучих вуглеводів і повторний нагрів газів за рахунок теплоти горіння електричних дуг. Це дозволяє забезпечувати стабільну температуру газів на вході в апарати газоочистки, а, отже, ефективну їх роботу і дотримання екологічних вимог.

Найбільш перспективним вирішенням проблеми охолоджування та утилізації тепла газів, що відходять, є використання їх для попереднього нагріву завантажувального в електропіч брухту. Повернення частини втраченого тепла безпосередньо в технологічний процес плавки в принципі є найефективнішим методом утилізації, оскільки при цьому досягається не лише скорочення витрати електроенергії, але і значне збільшення продуктивності ДСП.

Висновки. Дослідження показало, що найбільш прийнятним засобам зниження ресурсо- та енерговитрат для вітчизняного електросталеплавильного виробництва є попередній підігрів шихти. Цей метод відрізняється достатньо простим апаратурним і технологічним оформленням та ефективно знижує витрати при виробництві електросталі, а також позитивно впливає, як на фізико-хімічні процеси, так і на техніко-економічні показники плавки.

Список використаних джерел

1. Основи металургійного виробництва металів і сплавів : підручник для металург. спец. вищ. навч. закл. / Д. Ф. Чернега, В. С. Богушевський, Ю. Я. Готвянський та ін. ; за ред. Д. Ф. Чернеги, Ю. Я. Готвянського. Київ : Вища шк., 2006. 503 с.
2. Охотський В. Б. Феноменологія сталеплавильних процесів : навч. посібник. Дніпропетровськ : НМетАУ, 2011. 90 с.