

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКА ДЕРЖАВНА ІНЖЕНЕРНА АКАДЕМІЯ

Саломахіна Ольга Геннадіївна

УДК 669.01/09

**ДОСЛІДЖЕННЯ ФІЗИКО-ХІМІЧНИХ ТА ТЕХНОЛОГІЧНИХ
ПРОЦЕСІВ ОБРОБКИ СТАЛІ ПРИ ПРОДУВЦІ
ПОРОШКОПОДІБНИМИ МАТЕРІАЛАМИ**

Спеціальність 8.09040101 “Металургія чорних металів”

Автореферат
кваліфікаційної роботи магістра

Запоріжжя - 2016

Робота є рукопис.

Робота виконана на кафедрі металургії чорних металів Запорізької державної інженерної академії Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник:

Кандидат технічних наук, доцент Кириченко О.Г.

Рецензент:

Начальник технічного управління

ПАТ “Запоріжсталь”, к.т.н. Набока В.І.

Захист кваліфікаційної магістерської роботи відбудеться “11” січня 2016 р. в 9⁰⁰ в аудиторії 225 на засіданні Державної екзаменаційної комісії в Запорізькій державній інженерній академії за адресою: 69006, м. Запоріжжя, пр. Леніна, 226.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність проблеми. Сучасний розвиток металургійного виробництва характеризується бажанням підвищити продуктивність плавильних агрегатів і техніко-економічні показники процесу, поліпшити якість металу, що виплавляється, і полегшити умови праці обслуговуючого персоналу.

Ці завдання значною мірою вирішуються використанням прогресивного метода продувки металу порошкоподібними матеріалами.

Технологічні перевага цього методу полягає в тому що матеріали, які переведені в дрібнодисперсний стан, змінюють свої фізико-хімічні властивості – час плавлення їх зменшується, а активність підвищується. Оскільки багато металургійних реакції протікають на межі розділу метал – матеріал, то і їх інтенсифікація залежить від сумарної поверхні розділу, яка значно зростає при вдування порошкоподібних матеріалів. Збільшення сумарної поверхні реагування сприяє повнішому очищенню металу від домішок і меншій витраті шлакоутворюючих матеріалів. Застосування процесу, що розглядається, спрощує вантажні потоки в цеху сприяє більш високій організації виробничого процесу і дозволяє зменшити число робітників низької кваліфікації зайнятих на вантажно-розвантажувальних роботах. Крім того представляється можливим при проектуванні нових цехів змінити планування цеху, відмовитися від установки в цеху деякого допоміжного обладнання та значно спеціалізувати роботи, що проводяться в шихтовому і пічному прольотах.

В Україні найбільш широке поширення отримали роботи, що стосуються десульфуратії чавуну в ковші і сталі в мартенівській печі, розкислення і науглецювання металу вдуванням порошкоподібних карбонізаторів в мартенівську піч, дефосфорації, розкислення і десульфуратії сталі в дуговій електропечі.

Особливу увагу в роботі приділено найбільш розробленому до теперішнього часу процесу дефосфорації металу.

Залежно від переслідуваної мети змінюється склад порошку, що вдувається, газ-носій і умови протікання реакцій. Однак ефективність процесу може установлюватися не тільки зазначеними факторами, але й у значній мірі залежить від гідродинамічних умов продувки. Вивченню цього питання дослідниками приділено недостатньо уваги і опубліковано незначну кількість робіт через що не представилося можливим в даний час зазначені матеріали виділити в окремий розділ.

Таким чином, використання порошкових матеріалів є ефективним як з технологічної, так і з економічної точки зору. Сучасний стан теорії і практики процесу продувки металу порошкоподібними матеріалами дозволяє перейти на якісно новий щабель в розробці цього процесу – розробку оптимальної комплексної технології виплавки сталі з продувкою порошками.

Мета роботи. Узагальнення досвіду вітчизняних і зарубіжних металургів у розвитку теорії і практики процесу продувки металу порошками, а також проведення досліджень, спрямованих на поглиблення і розширення наукових і практичних навичок використання порошкоподібних матеріалів в металургії.

Для досягнення поставленої мети в роботі необхідно було вирішити такі завдання:

1. Проаналізувати сучасний стан і напрями використання порошкоподібних матеріалів.
2. Дослідити кінетику і механізм процесу дефосфорації сталі при продувці газо–

порошковим струменем.

3. Вивчити особливості руху частинки порошку в розплавленому металі.

4. Провести лабораторні і промислові дослідження по застосуванню кальціє- та магнієвмісних порошкоподібних матеріалів.

5. Дослідити вплив технологічних параметрів на дефосфорацію та десульфурацію сталі порошками.

Об'єкт дослідження: процес дефосфорації та десульфурації сталі при використанні кальціє- та магнієвмісних порошкоподібних матеріалів.

Предмет досліджень: закономірності і механізми впливу хімічного і фракційного складу порошкоподібних матеріалів на дефосфоруючі та десульфуруючі здатності при обробці металу.

Методи досліджень: хімічний аналіз, петрографічний, гранулометричний аналіз, статистичні випробування.

Наукова новизна:

1. Встановлено, що процес дефосфорації металу продувкою газо–порошкового струменем здійснюється переважно на контактній поверхні металу з шлаковими частинками. Лімітуючою ланкою в сумарному процесі дефосфорації є дифузія фосфору в шлакових частинках.

2. Розкрито кінетичні закономірності дефосфорації і визначено, що існує прямо-лінійна зміна вмісту фосфору в металі по ходу продувки газо–порошковим струменем і наявність «інкубаційного періоду», пов'язаного з поступовим накопиченням в шлаку, що формується, окислів заліза при використанні неокислених складів порошкоподібних сумішей.

3. Вперше визначено повноту використання дефосфоруючої здатності шлакових частинок, що характеризується ступенем завершеності дифузії фосфору в них, при даному складі дефосфоруючої суміші, яке визначається положенням фурми, швидкістю вдування порошку і розмірами рідких шлакових частинок, залежних від тиску транспортуючого газу.

Практичне значення:

1. Розроблено технологічні режими отримання спеціальних порошкових сумішів різного складу на основі кальцій- та магнієвмісних матеріалів.

2. Запропоновано технологію виплавки якісних сталей в дугових електропечах з використанням порошкоподібних матеріалів, що дозволяє досягти глибокого ступеня дефосфорації та десульфурації (вміст фосфору в кінці продувки складає 0,003 – 0,005%, сірки – 0,004 – 0,007%).

3. Показана можливість використання порошкоподібних матеріалів в промислових умовах при виплавці сталей марок 18X2H4BA, ШХ15 в електросталеплавильному цеху ПАТ “Дніпроспецсталь”.

Апробація результатів роботи. Результати досліджень, включених в кваліфікаційну магістерську роботу, доповіли на: XX науково-технічній конференції студентів, магістрантів, аспірантів і викладачів ЗДІА. Металургія та енергозбереження як основа сучасної промисловості. Том I. (Запоріжжя, 2015 р.); наукових семінарах кафедри металургії чорних металів Запорізької державної інженерної академії.

Публікації

Основні результати роботи викладені в збірці магістерських робіт і тезах конференції.

Структура і об'єм роботи

Кваліфікаційна робота магістра складається з вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел з 32 найменувань, викладена на 124 сторінках машинописного тексту, включаючи 62 рисунків, 14 таблиць.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність роботи, сформульовано мету і завдання дослідження, показано наукову новизну роботи і практичну цінність отриманих результатів.

У першому розділі проведений аналіз сучасних науково – технічних підходів застосування порошкоподібних матеріалів в чорній металургії, застосування кальціє-та магнієвмісних матеріалів, аналіз використання порошкоподібних матеріалів при дефосфорації та сучасні промислові способи вживання порошкоподібних матеріалів.

Продувка металу порошкоподібними матеріалами проводиться для забезпечення максимального контакту твердих реагентів з металом, максимальної швидкості взаємодії реагентів зі сталлю і високого ступеня використання реагентів, що вдуваються.

В якості реагентів, що вдуваються, використовують шлакові суміші, а також метали або сплави металів. Метод вдування порошків використовують для ряду цілей:

1. Дефосфорація металу. 2. Десульфуррація. 3. Розкислення і легування. 4. Прискорення шлакоутворення. 5. Навуглецювання. 6. Метод вдування в сталь в ковші порошків може використовуватися також для отримання сталі з регламентованим вмістом азоту, а також для легування кремнієм, нікелем, молібденом, вольфрамом, свинцем та ін.

Найбільш поширеним реагентом, використовуваним в складі сумішей, що вдуваються, є кальцій. Цьому сприяють наступні властивості кальцію:

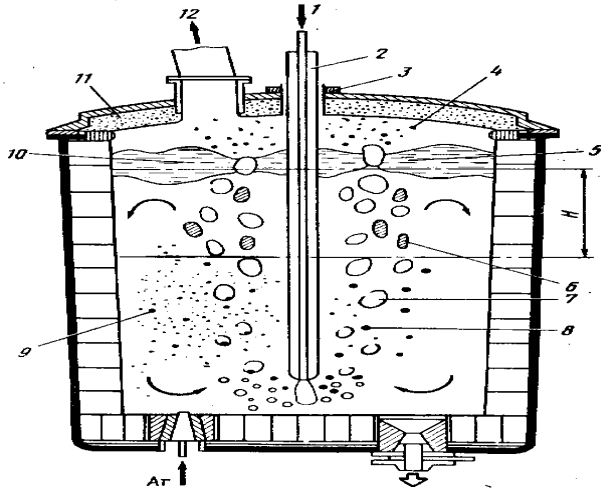
1. Висока хімічна спорідненість до кисню, тому введення кальцію в метал забезпечує високий ступінь його розкислення.
2. Висока хімічна спорідненість до сірки, тому введення кальцію в метал забезпечує високий ступінь його десульфуррації і низький вміст сірки після обробки
3. Сприятливий вплив на морфологію включень у сталі.
4. Позитивний вплив на швидкість видалення включень.
5. Сприятливий вплив на оброблюваність сталі.
6. Позитивний вплив на показники анізотропії властивостей, механічних властивостей і зниження ступеня сегрегації.

Останнім часом дефосфорацію металу проводять шляхом продувки його порошкоподібними сумішами в струмені кисню.

Недоліком проаналізованих робіт є відсутність обґрунтованого підбору складу дефосфоруючої суміші. У більшості випадків використовують суміші порошків вапна і плавикового шпату, які самі по собі не є дефосфоруючими оскільки в їх складі немає оксидів заліза. Враховуючи це, а також те що лімітуючою ланкою реакції дефосфорації є дифузія фосфору, в лабораторних умовах визначили оптимальний склад дефосфоруючої порошкоподібної суміші, виходячи з мінімальних в'язкості і температури плавлення шлаку, що формується. Для промислових дослідів була рекомендована суміш із 70% вапна 20% залізної руди і 10% плавикового шпату

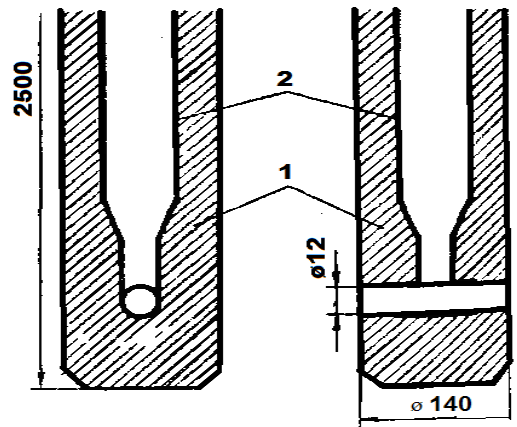
На рис. 1 наведена загальна схема процесу вдування кальцієвмісних компонентів в ківш. Процес введення кальцію в сталь характеризується низкою особливостей: великим піроефектом, малим ступенем засвоєння і відповідно підвищеною вартістю обробки і т.д.

На рис. 2 наведена схема наконечника фурми.



1 – кальцієвмісні матеріали в струмені аргону; 2 – фурма; 3 – ущільнення; 4 – газова фаза; 5 – шлак; 6 – бульбашки парів кальцію; 7 – газові бульбашки; 8 – краплі кальцію; 9 – зона диспергування кальцієвмісних матеріалів; 10 – зона наскрізного проходження бульбашок; 11 – склепіння; 12 – пиловловлювання

Рисунок 1 – Схема процесу газовиділення при вдування в метал кальцієвмісних компонентів



1 – високоглиноземний вогнетрив;
2 – сталеві трубки

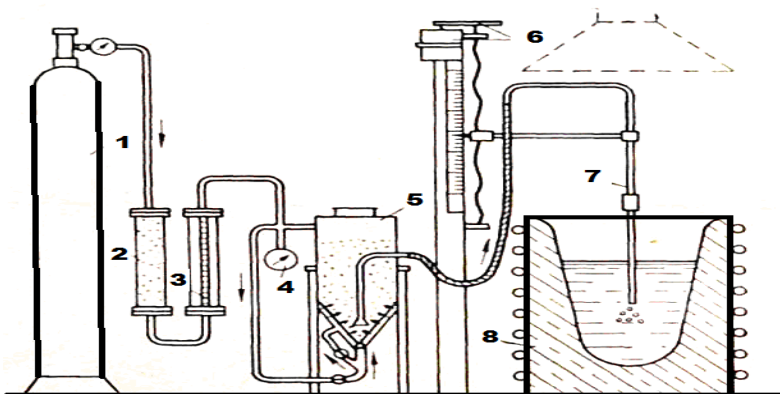
Рисунок 2 – Фурма для вдування порошків

Отже, сталь після продувки порошкоподібними матеріалами є більш якісною, відповідно підвищується і якість металопродукції і металопрокату (швелера, труби, двотаври, куточки, листи сталеві гарячекатані і багато ін.).

Вивченню процесів використання порошкоподібних матеріалів присвячено багато робіт. Застосування даного технологічного підходу володіє рядом наукових і технічних переваг, які в майбутньому будуть визначати перспективні напрямки позапічної обробки металів. Однак особливий акцент в майбутніх дослідженнях слід приділити питанням дефосфорації та десульфурації сталі.

У другому розділі представлено методики і устаткування, які застосовувалися в ході виконання роботи, також досліджено фізико – хімічні і технологічні процеси при використанні порошкоподібних матеріалів, кінетика і механізм процесу дефосфорації сталі при продувці газо–порошковим струменем, розглянуті особливості руху частинки порошку в розплавленому металі, вивчено вплив технологічних параметрів на дефосфорацію сталі порошками.

Дослідні плавки проводили в основній 50–кг індукційної печі (рис. 3).



1 – балон з киснем; 2 – абсорбер силікогелевий; 3 – ротаметр типу РС-5; 4 – манометр МТІ 160Х1; 5 – камерний живильник з аеруючим пристроєм; 6 – електропривод механізму кріплення і переміщення фурми; 7 – фурма; 8 – індукційна піч МГП-52 А

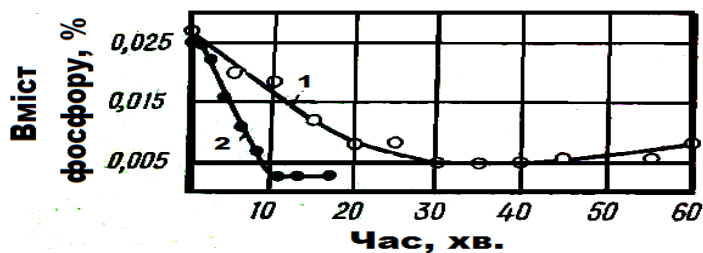
Рисунок 3 – Схема лабораторної установки для продувки металу порошками

В якості шихтових матеріалів використовували висічку з вмістом 0,06 – 0,40% С, 0,6 – 0,8% Мп, 0,06 – 0,08% Si, 0,008 – 0,010% Si, синтетичний чавун, виплавлений на

основі тієї ж висічки, що містить 3,5–4,1% С. Вага шихти на плавку становила 30 – 32 кг.

Для високоякісних сталей, виплавлених в дугових електропечах необхідно отримувати вміст сірки і фосфору в готовому металі менш 0,015%. Для багатьох марок сталі, що йдуть на деталі відповідального призначення сума сірки і фосфору не повинна перевищувати в готовому металі 0,015 – 0,020%.

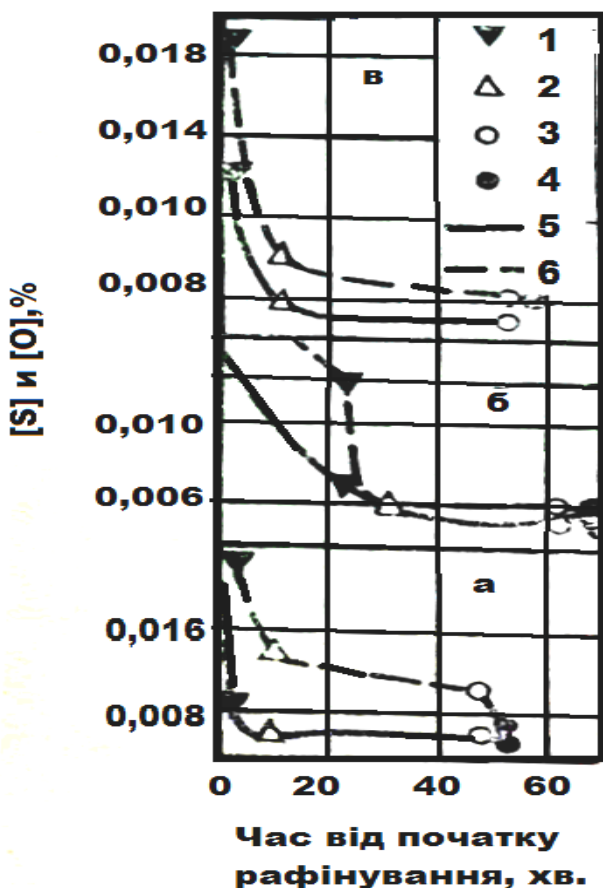
У цій роботі запропонована та досліджена технологія виплавки сталі в дугових електропечах з використанням методу вдуння порошкоподібних матеріалів одночасно в окислювальному і відновлювальному періоді. Така технологія дозволяє успішно вирішувати задачі швидкісного рафінування металу від фосфору і сірки. Продувку металу дефосфоруючою сумішшю порошоків з вапна, залізної руди 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°C.



1 – плавка за чинною технологією; 2 – плавка за технологією з продувкою порошками

Рисунок 4 – Зміна вмісту фосфору в металі по ходу продувки порошкоподібною сумішшю

На рис. 5 показані характерні кінетичні криві видалення кисню сірки і газів по ходу рафінування. З рис. 5 видно також що сірка в основному видаляється під час продувки (при використанні чистого вапна і сумішей $\text{CaO} - \text{CaF}_2$) і в ковші, причому швидкість десульфурації в ці моменти найбільша. Взагалі незалежно від початкового вмісту сірки перед випуском її концентрація в ковшовій пробі знижується до 0,004–0,006%.



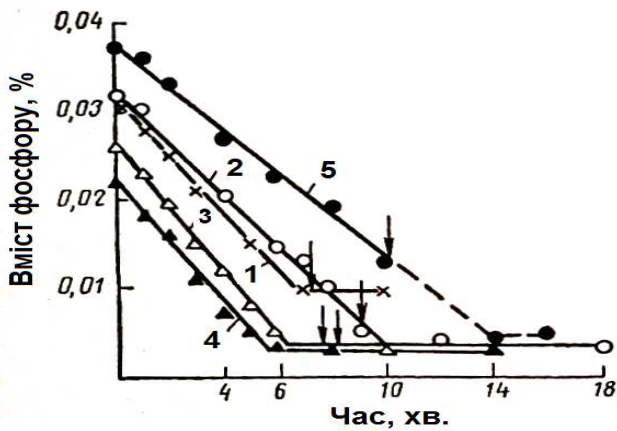
а, б – кускове розкислення з наступною продувкою на початку і середині рафінування; в – продування нерозкисленого металу порошкоподібними розкислювачами на початку рафінування; 1 – початок продувки; 2 – кінець продувки; 3 – перед випуском; 4 – в ковші; 5 – кисень; 6 – сірка

Рисунок 5 – Кінетика видалення сірки і кисню в відновлювальний період електроплавки

При реакції дефосфорації на межі розділу метал – шлакова фаза можливими лімітуючими ланками можуть бути:

1. дифузія фосфору з обсягу металу до поверхні розділу;
2. дифузія кисню з обсягу шлаку до поверхні розділу;
3. перехід через поверхню розділу або акт хімічної реакції;
4. дифузія фосфору від межі розділу в обсяг шлакової фази.

Характерні кінетичні криві окислення фосфору (рис. 6) при продувці металу в печі сумішшю порошоків вапна залізної руди і плавикового шпату (7:2:1) свідчать про сталість швидкості дефосфорації і відсутності залежності її від концентрації фосфору по ходу продувки порошками. Це дозволяє зробити висновок, що в сумарному процесі масопереносу дифузія фосфору в металі не є лімітуючою ланкою.

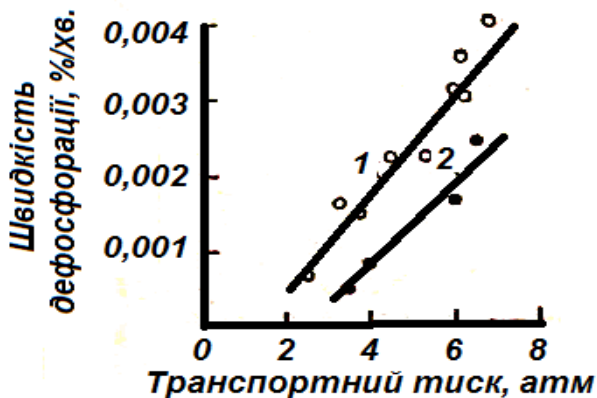


Фурма занурена в метал 1 – $I = 4,44$; 2 – $I = 4,47$; 3 – $I = 5,0$; 4 – $I = 5,2$ кг/(т·хв.). Фурма на межі розділу метал – шлак 5 – $I = 5,0$ кг/(т·хв.). Стрілкою показаний кінець вдування порошку і початок продувки чистим киснем

Рисунок 6 – Кінетичні криві дефосфорації металу продувкою порошком суміші вапна, залізної руди і плавикового шпату (7:2:1) зі скачуванням шлаку періоду плавлення

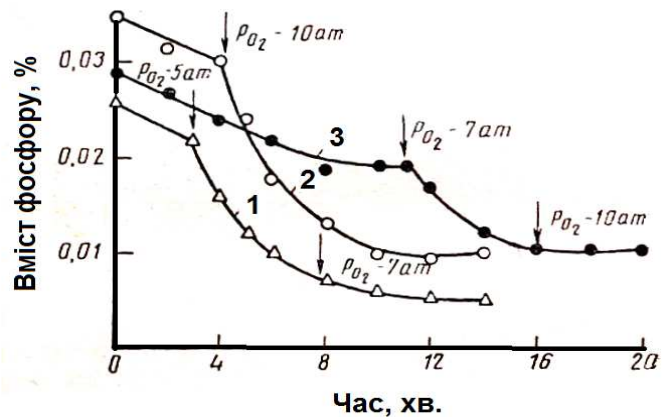
Зростання останнього, як показали експериментальні дані (рис. 7), супроводжується підвищенням швидкості дефосфорації. Це пов'язано зі збільшенням ролі третьої стадії – перемішування металу з шлаком, що формується на його поверхні, дефосфоруюча здатність якого повністю не використана. Можливість досягнення значної швидкості дефосфорації в результаті інтенсивного перемішування металу зі шлаком газовим струменем підтверджується даними рис. 8.

Результати показують, що існує принципова можливість повного використання дефосфоруючої здатності шлакових частинок під час здійснення першої та другої стадії, якщо розміри частинок не перевищують $0,3 \cdot 10^{-2}$ см. При цьому $\theta_{\text{ц}} = 1$ при будь-яких розглянутих значеннях глибини занурення фурми і швидкості витікання газопорошкового струменя.



1 – фурма занурена в метал; 2 – фурма розташована на межі розділу метал – шлак

Рисунок 7 – Залежність швидкості дефосфорації від тиску транспортуючого газу



1 – $P_{O_2} = 5-7$ ат; 2 – $P_{O_2} = 10$ ат; 3 – $P_{O_2} = 7-10$ ат

Рисунок 8 – Кінетичні криві дефосфорації металу присадкою порошку суміші (7:2:1) на поверхню металу з наступною продувкою киснем

При більшому розмірі шлакових частинок $\theta_{\text{ц}} < 1$ подальше використання дефосфоруючої здатності шлакової фази відбувається за рахунок протікання третьої стадії.

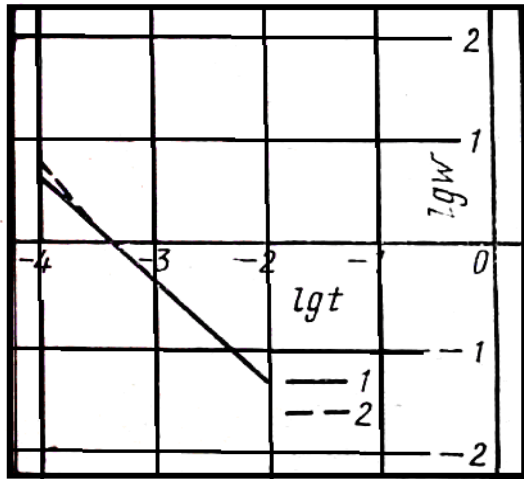
У дослідженнях процесу продувки металу газопорошковим струменем про взаємодію частинки порошку з металом судять за глибиною проникнення частинки в метал і швидкості її спливання.

Рівняння руху частинки уздовж осі У має вигляд:

$$m \frac{dw_y}{dt} = -6\pi\eta w_y + \frac{4}{3}\pi r^3 g(\rho_m - \rho). \quad (1)$$

Це рівняння являє собою вираз закону Стокса. Таким чином, розрахунки швидкості руху частки в металі за формулою Стокса можливі лише на ділянці рівномірного руху частинки, який становить лише частину траєкторії останньої.

На рис. 9 наведено залежності складових швидкості частинки від часу руху. Розрахунки показують, що вже через 0,0001 сек складові швидкості рівні: $w_x = 4,3$; $w_y = 5,2$ м/с. Через 0,005 сек вони рівні 9 см/сек.



1 – w_x , 2 – w_y

Рисунок 9 – Зміна швидкості частинки під час занурення

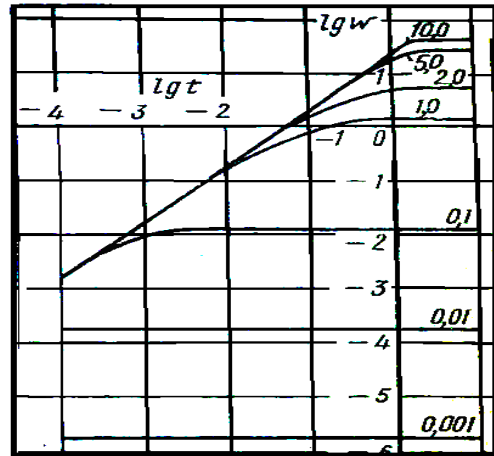


Рисунок 10 – Зміна швидкості частинок під час спливання при різному їх діаметрі, мм (цифри у кривих)

На рис. 10 наведені криві зміни швидкості спливання частинок в часі залежно від їх діаметру. З рис. 10 випливає, що для частинок діаметром 1 мм і більше розрахунок швидкості спливання за формулою Стокса дає завищені результати. Частинки діаметром 1 мм практично миттєво після гальмування починають рухатися рівномірно.

Метал продували сумішшю порошоків вапна, залізної руди та плавикового шпату (7:2:1). Гранулометричний і хімічний склади наведено в табл. 1.

Таблиця 1 – Гранулометричний і хімічний склад компонентів суміші

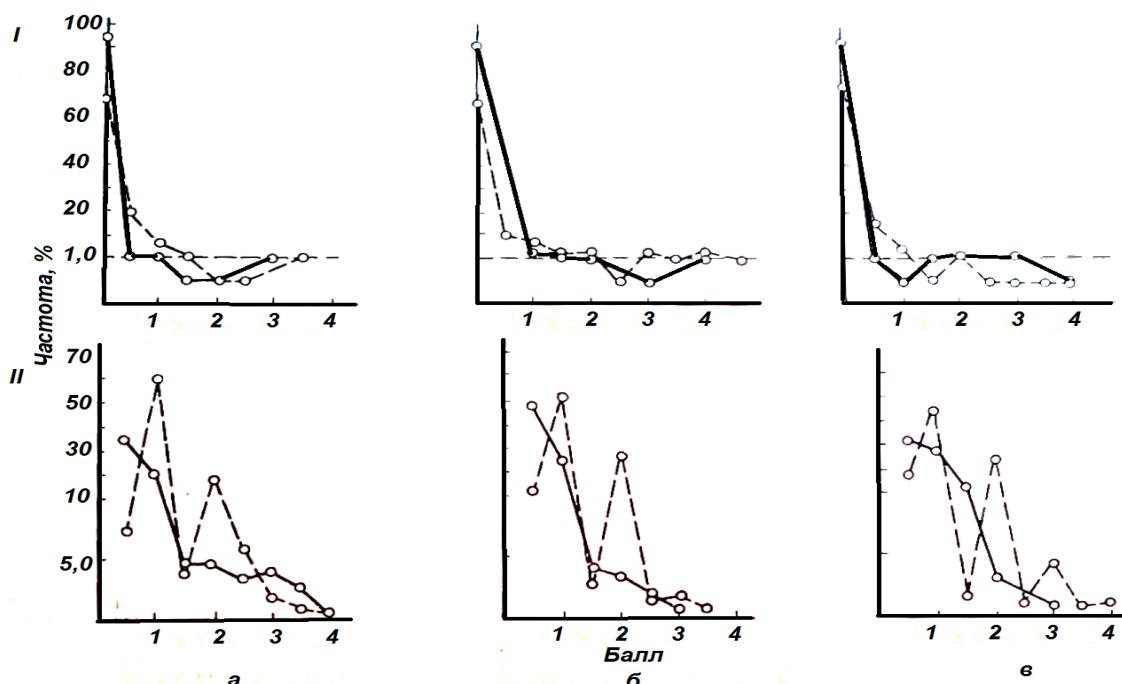
Компонент	Вміст, %, фракцій, мм							
	>0 <0,06	>0,06 <0,10	>0,10 <0,20	>0,20 <0,32	>0,32 <0,63	>0,63 <1,0		
Вапно	9,6 – 10,8	18,4–21,5	24,2–25,6	14,7–16,2	13,9–15,7	14,3–15,4		
Залізна руда	4,7– 6,2	14,1–16,4	23,6–26,9	18,5–21,1	18,1–21,7	14,5–16,0		
Плавиковий шпат	9,1–10,7	13,9– 15,8	18,5–19,9	23,8–26,7	18,7–21,5	8,3–10,9		
Компонент	Хімічний склад, %							
	CaO	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	MgO	P ₂ O ₅	S	п. п. п.
Вапно	89,1–93,5	2,4–3,7	0,41–0,78	0,60–1,32	2,1–3,5	0,07–0,12	0,08–0,13	4,2–7,9
Залізна руда	0,08–0,14	5,1–8,4	85,6–90,8	1,9–3,3	0,26–0,40	0,13–0,17	–	–
Плавиковий шпат	0,37–0,65	2,6–9,8	0,71–0,97	0,19–0,35	–	0,10–0,16	0,18–0,28	–

При проведенні дослідних плавок сталі 18X2H4BA, ШХ15 та ін. на свіжій шихті у складі завалки використовували вуглецевий брутт, чавун і кокс. Хімічний склад металу перед продувкою змінювався в наступних межах: 0,45–1,57% С, 0,20–0,80% Mn, 0,03–0,10% Si, 0,012–0,048% P, 0,011–0,043% S, 0,10–0,27% Cr.

Дослідні плавки проводили за наступними варіантами:

1. Продувка дефосфоруючою сумішшю (7:2:1) із зануренням фурми в метал під кутом 30° на глибину 200 мм по довжині фурми в 10-т печі: а) без скачування шлаку в період плавлення; б) зі скачуванням шлаку.
2. Те саме, в печі ємністю 20 т: а) без скачування шлаку; б) зі скачуванням шлаку.
3. Продування сумішшю (7:2:1) при положенні фурми на межі розділу метал–шлак в 10-т печі: а) без скачування шлаку; б) зі скачуванням шлаку.
4. Продувка сумішшю (7:2:1) в печі ємністю 10 т при комбінованому положенні фурми (занурення фурми під кутом 30° на глибину 350 мм по її довжині з подальшим переміщенням на кордон розділу метал–шлак): а) без скачування шлаку; б) зі скачуванням шлаку.
5. Присадка суміші (7:2:1) на поверхню металу після скачування шлаку в період плавлення і подальша продування металу чистим киснем.
6. Продування сумішшю вапна і плавикового шпату (4:1) із зануренням фурми в метал після скачування шлаку.
7. Продування сумішшю вапна і плавикового шпату (4:1 і 7:3) після скачування шлаку в період плавлення і без занурення фурми в метал.
8. Проведення плавки за заводською технологією з рівномірною присадкою порцій залізної руди і вапна.

Металургійну оцінку забрудненості сталі неметалевими домішками при збільшенні в 100 разів проводили по висоті злитка на чотирьох мікрошліфах, вирізаних з макротемплета від центру до краю за шкалами ГОСТ 801–60 для сталі ШХ 15 і 1778–62 для сталі 18Х2Н4ВА. Макротемплети вирізали з проб, відібраних після прокату металу на стані 950 по висоті злитка (А, Б, Х). Мікрошліфи по перетину ділили на 25 ділянок. У металі дослідних плавки збільшується число полів зору, вільних, від неметалічних включень: сульфідних з 47 до 51,5%; оксидних з 54 до 57,5%; глобулярних з 71,2 до 94,3%.

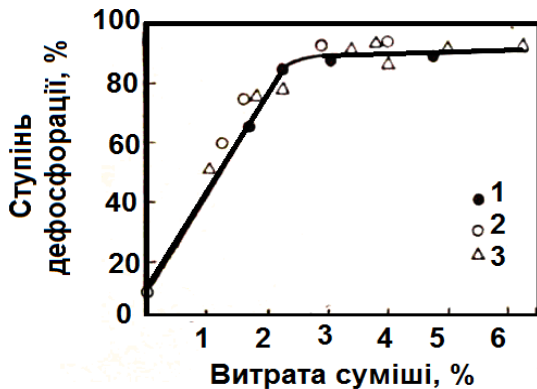


а – верх; б – середина; в – низ. I – глобулярні включення, сталь ШХ15; II – оксидні включення, сталь 18Х2Н4ВА; ----- – дослідні плавки; ———— – звичайні

Рисунок 11 – Частотні криві забрудненості металу по висоті зливків

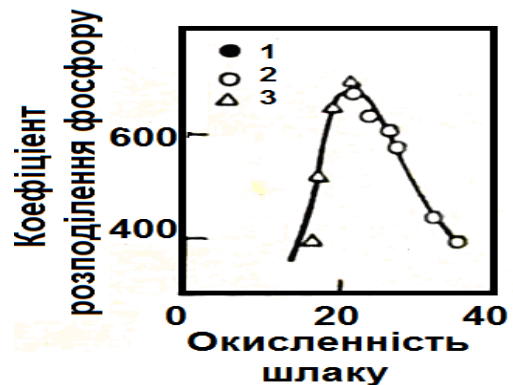
Одночасно знижується середній бал максимальних сульфідних і глобулярних включень. У металі дослідних плавів середній бал максимальних сульфідних включень становить 1,1–1,4, а глобулярних 0,85–1,8. У металі промислових плавів середній бал максимальних сульфідних і глобулярних включень становить відповідно 1,3–1,6 і 1,7–2,3. Частотні криві (рис. 11) показують, що метал дослідних плавів забруднений неметалевими включеннями підвищеного бала в меншій мірі, ніж метал промислових плавів.

Було вивчено вплив вуглецю, хрому, марганцю, кремнію і алюмінію на процес видалення фосфору з металу в шлак при продувці порошкоподібною сумішшю вапна, окису заліза і плавикового шпату у ваговому співвідношенні 7,5:1,5:1 (рис. 12-15).



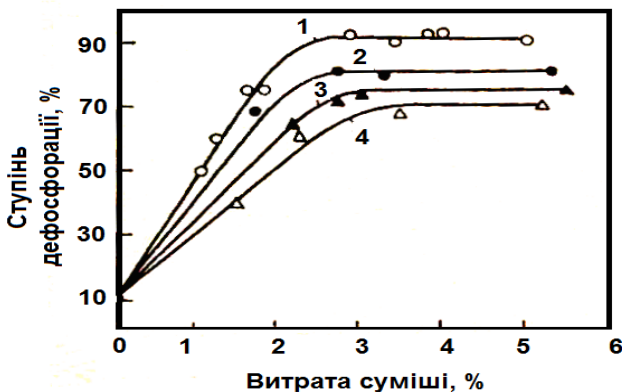
1 – 0,03–0,04% С; 2 – 0,5–0,7% С; 3 – 0,8–1,0% С

Рисунок 12 – Вплив початкових концентрацій вуглецю в металі на ступінь дефосфорації при різній витраті порошкоподібною суміші



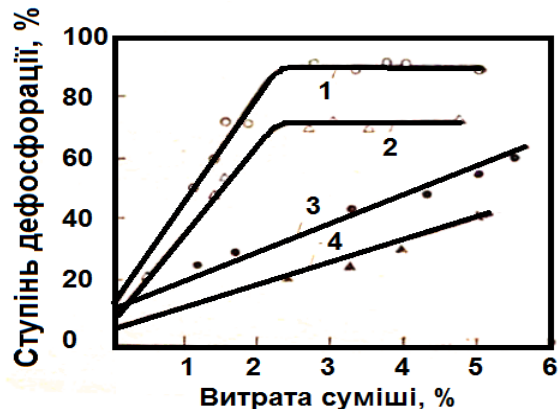
1 – 0,03–0,04% С; 2 – 0,5–0,7% С; 3 – 0,8–1,0% С

Рисунок 13 – Вплив окисленості неформованого шлаку на коефіцієнт розподілення фосфору при продувці порошком суміші в струмені кисню



1 – 0,02–0,05% Cr; 2 – 0,6–0,6% Cr; 3 – 0,95–1,1% Cr; 4 – 1,31–1,45% Cr

Рисунок 14 – Залежність ступеня дефосфорації від витрати суміші при різному вмісті хрому в металі



1 – 0,15–0,20% Mn; 2 – 0,56–0,62% Mn; 3 – 1,5–1,6% Mn; 4 – 2,0–2,2% Mn

Рисунок 15 – Залежність ступеня дефосфорації від витрати суміші при різному вмісті марганцю в металі

Вміст вуглецю в металі не робить впливу на спостережуваний коефіцієнт, розподілу фосфору між металом і шлаком (рис. 13).

На рис. 14 представлена залежність ступеня дефосфорації від витрати суміші при різному початковому вмісті хрому в металі.

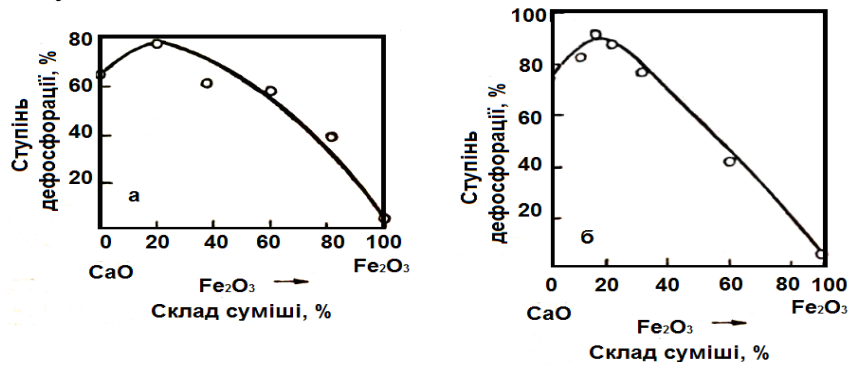
Збільшення кількості окислів хрому в складі шлаку призводить до підвищення його в'язкості, що в свою чергу викликає зменшення коефіцієнта дифузії фосфору; в результаті процес дефосфорації істотно сповільнюється.

Дані рис. 15 свідчать про значний вплив марганцю на ступінь дефосфорації в до-

сліджених інтервалах концентрацій і більшій витраті суміші на продувку.

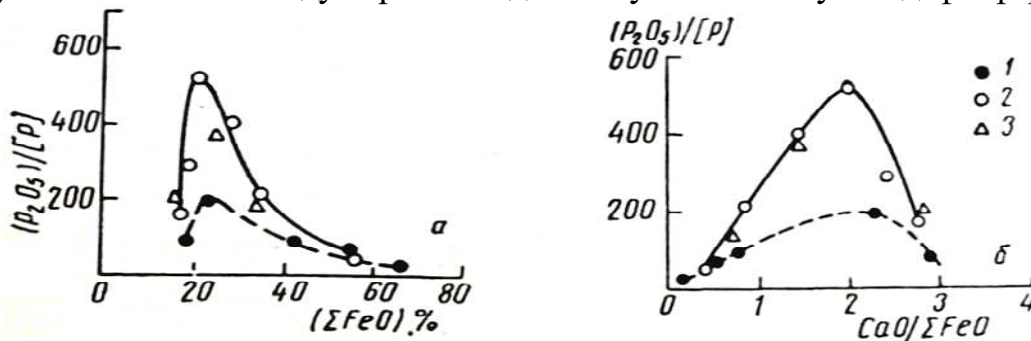
Для проведення більш глибокої дефосфорації легованого металу необхідно вишукати нові технологічні методи і прийоми продувки, а також знайти більш точний склад порошкоподібної суміші з урахуванням легування тим чи іншим компонентом.

Мета наступного розділу роботи - виявити в лабораторних умовах вплив деяких технологічних параметрів на швидкість і повноту протікання процесу дефосфорації порошку. На рис. 16, 17 показано вплив складу порошкоподібних сумішей на ступінь дефосфорації металу.



а – продування сумішами CaO – Fe₂O₃; б – продування сумішами CaO + Fe₂O₃ + 10% CaF₂

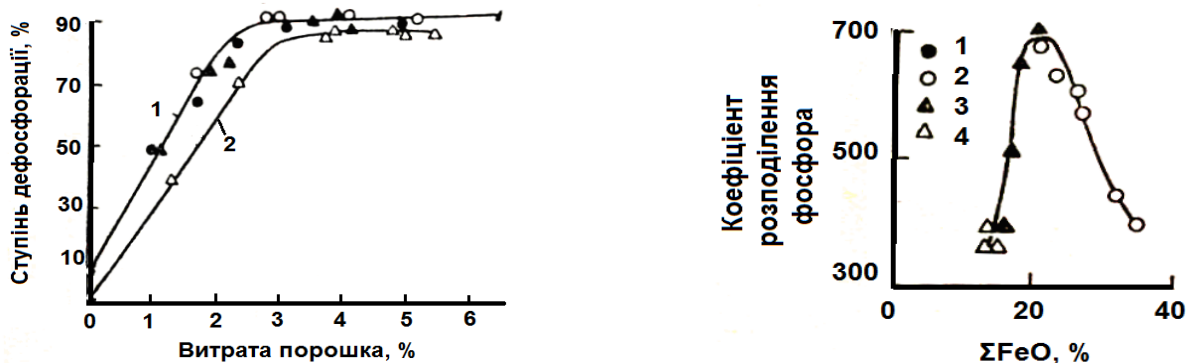
Рисунок 16 – Вплив складу порошкоподібних сумішей на ступінь дефосфорації металу



1 – CaO+Fe₂O₃; 2 – CaO+Fe₂O₃+10%CaF₂; 3 – CaO+Fe₂O₃+20%CaF₂

Рисунок 17 – Залежність коефіцієнта розподілу фосфору між металом і шлаком від окисленості шлаку (а) і відношення CaO/ΣFeO в шлаку (б)

Наведені експериментальні дані (рис. 18-22) свідчать про те, що найбільш доцільним шляхом прискорення дефосфорації продувкою сумішшю оптимального складу є одночасне збільшення інтенсивності вдування порошку і тиск транспортуючого газу.



1 – продувка порошком в струмені кисню; 2 – продування порошком в струмені аргону. Вміст вуглецю, %: ●–0,03-0,04; Δ–0,3-0,5; ○–0,5-0,7; ▲–0,8-1,0

Рисунок 18 – Вплив виду транспортуючого газу на ступінь дефосфорації при різних витраті порошкоподібної суміші

Рисунок 19 – Залежність коефіцієнту розподілу фосфору від окисленості шлаку при продувці металу сумішшю в струмені кисню (1–3) і аргону (4)

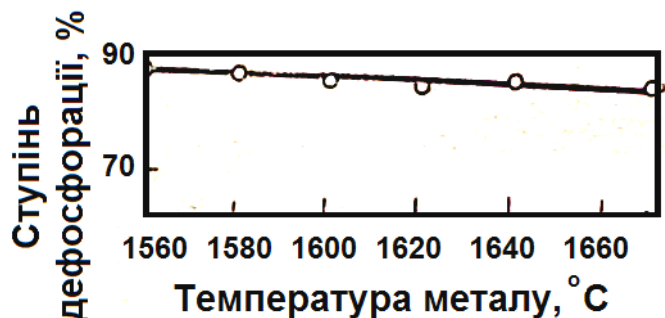


Рисунок 20 – Залежність ступеня дефосфорації від температури металу



Рисунок 21 – Вплив інтенсивності продувки порошком на швидкість дефосфорації

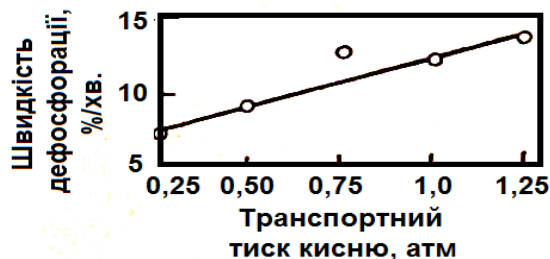
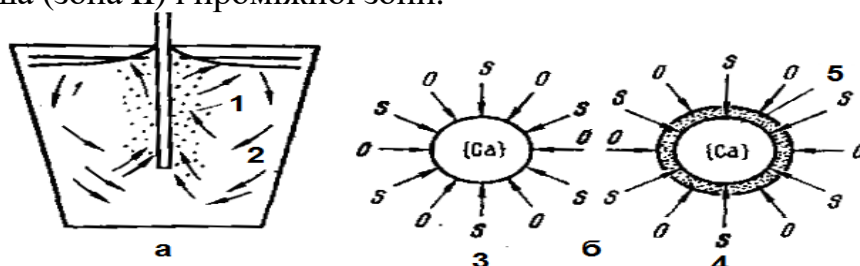


Рисунок 22 – Вплив транспортного тиску газу на швидкість дефосфорації

Зазвичай порошкоподібні реагенти вводять в метал через фурму зверху. Разом з тим існують і різновиди метода: 1) порошки вводять знизу через стакан–отвір в шибєрних затворів; 2) порошки вводять в підвідний патрубок (або в камеру над підвідним патрубком) установки порційного вакуумування.

При продуванні металу сумішшю були відібрані проби із зони продувки (зона I), біля стінки ковша (зона II) і проміжної зони.



1 і 2 – відповідно зона спливання міхурів і зона циркуляції; 3 – продувка сумішшю без алюмінію (суміш 2); 4 – продування сумішшю, що містить алюміній (суміші 5–7); 5 – зона розчинення алюмінію

Рисунок 23 – Схема руху металу і міхурів газу в ковші (а) і взаємодії бульбашок кальцію з сіркою і киснем (б)

Проби відбирали з одного рівня ковша відразу після початку продувки. Як видно з даних табл. 2, вміст сірки в зоні I нижче, ніж в проміжній та зону II.

Таблиця 2 – Зміна вмісту сірки по зонах ковша

Номер плавки	[S], по зонах ковша		
	зона I	проміжна	зона II
1	0,011	0,015	0,018
2	0,015	0,017	0,019
3	0,015	0,019	0,022
4	0,014	0,020	0,020

У третьому розділі розглянуті питання охорони праці та техногенної безпеки,

дається характеристика шкідливих умов виробництва, санітарно-гігієнічних умов праці, описуються заходи, які забезпечують комфортні умови праці. Також зроблений розрахунок захисного заземлення для лабораторії, в якій розташована підстанція 2,5 кВ.

Висновки

1. Вміст фосфору в металі за 5–7 хв. знижується з 0,019–0,033 до 0,003–0,005%. У готовому металі вміст фосфору змінюється в межах 0,006–0,010%, що в 1,5–2 рази менше вмісту фосфору в металі, виплавленому за традиційною технологією.
2. Скорочується час окисного (до 30 хв.) та відновного періодів (до 40 хв.). При цьому підвищується продуктивність печі на 15 – 20%.
3. Знижується витрата електроенергії на 100 кВт·год/т.
4. Залишковий вміст фосфору в кінці продувки складає 0,003–0,005%, сірки – 0,004–0,007%.
4. Видаляється до 15 – 30% розчинених у 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 і в сталі ШХ15 не перевищує 0,008%.
6. Виключається ручна операція по присадці вапна і залізної руди зменшується витрата шлакоутворюючих матеріалів; значно знижується трудомісткість роботи біля печі.
7. Інтенсивне перемішування забезпечує швидке і одномірне розчинення легуючих елементів у ванні; це дозволяє відбирати представницькі проби після продувки і знижувати брак по хімічному аналізу. З'являється можливість виплавки сталі з більш вузькими межами за хімічним складом, що дає економію розкислювачів і легуючих матеріалів.
8. Метал, що виплавляється, характеризується щільною макроструктурою і низьким середнім балом по сульфідам в порівнянні зі звичайним металом.
9. Отримані рівняння, що дозволяють оцінити правомірність застосування формули Стокса і розрахувати траєкторію і швидкості руху частинок в металі.
10. При виплавці сталі з окисленням вуглецю залізною рудою бригада сталеварів вручну присаджує в піч 500–600 кг залізної руди і 400–500 кг вапна. Розроблена технологія дозволяє повністю виключити цю операцію.
11. Загальна кількість шлаку при виплавці сталі з вдуванням порошків значно менше.
12. Механічні властивості металу, виплавленого з новою та старою технологіями, знаходяться на одному рівні, а число полів зору, вільних від неметалевих включень, в дослідному металі збільшується. При цьому знижується середній бал максимальних сульфідних і глобулярних включень.
13. Продування металу порошками підвищує техніко-економічні показники процесу плавки сталі і значно полегшує умови праці обслуговуючого персоналу.

Список опублікованих магістрантом робіт

1. Саломахіна О.Г. Особливості руху частинки порошку в розплавленому металі / О.Г. Саломахіна, О.Г. Кириченко // Збірник наукових праць магістрантів кафедри МЧМ. Випуск 11.- Запоріжжя: Видавництво ЗДІА, 2015.- С.57-65.
2. Саломахіна О.Г. Особливості глибокої десульфурзації гранульованим магнієм / О.Г. Саломахіна // Матеріалі ХХ науково-технічної конференції студентів, магістрантів, аспірантів і викладачів ЗДІА. Металургія та енергозбереження як основа сучасної промисловості : Том І. / Запорізька держана інженерна академія. - Запоріжжя: ЗДІА, 2015.- С. 15.