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_ **Технологічні особливості обробки металу інертними газами в печі та в ковші**

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)
В.В.Корнієнко
(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)
_____Корнієнку Володимиру Володимировичу_____
(прізвище, ім'я, по батькові)

1 Тема роботи (проєкту) Технологічні особливості обробки металу інертними газами в печі та в ковші _____

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 особливості обробки металевого розплаву в коші та в печі_____
_____
4 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)
Реферат. Вступ. Аналіз технологічних аспектів продування металевих розплавів газами. Розрахунок матеріального балансу плавки сталі марки 09Г2С у двохванному сталеплавильному агрегаті. Дослідження процесів продувки сталі в ковші та в печі. Охорона праці та техногенна безпека. Висновки. Перелік джерел посилання. Додаток А_____
5 Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)__14__креслень_____
_____

6 Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Аналіз технологічних аспектів продування металевих розплавів газами.	Воляр Р.М., доцент		
Розрахунок матеріального балансу плавки сталі марки 09Г2С у двохванному сталеплавильному агрегаті	Воляр Р.М., доцент		
Дослідження процесів продувки сталі в ковші та в печі	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 технологічних аспектів продування металевих розплавів газами.	26.11-30.11.2024	
3	Розрахунок матеріального балансу плавки сталі марки 09Г2С у двохванному сталеплавильному агрегаті	01.12-04.12.2024	
4	Дослідження процесів продувки сталі в ковші та в печі	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 _____ _____В.В.Корнієнко_____
(підпис) (ініціали та прізвище)

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

Нормоконтроль пройдено

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

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 113 с., 56 табл., 7 рис., 1 дод., 26 джерел

ПРОДУВАННЯ, РОЗПЛАВИ, КІВШ, ПІЧ, ГАЗИ, АРГОН, ЯКІСТЬ СТАЛІ, КОНЦЕНТРАЦІЯ, ШИБЕРНИЙ ЗАТВОР

Об'єкт дослідження – процес продування сталі в печі та в ковші.

Предмет дослідження – способи та методи продування сталі в печі та в ковші.

Мета роботи – розробка та вибір оптимальної технології продування металевого розплаву інертними газами.

Наукова новизна:

1. Встановлено, що на плавках з продувкою аргоном сталі типу 09Г2 кількість злитків переведених у сталь 0 через невідповідність марганцю і кремнію вимогам ГОСТу майже в 2 рази менше, ніж на звичайних плавках.

2. Встановлено, що мікродослідження злитків плавок з продуванням аргоном показало, що метал на всіх горизонтах зливка щільний. Зменшилася центральна пористість та точкова неоднорідність. Ліквація вуглецю відсутня.

Практичне значення:

1. Розроблено технологію продування сталі в печі та в ковші.

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

У розділі 1 наведено аналіз технологічних аспектів продування металевих розплавів газами, представлено вплив позапічної обробки металу на усереднення температури та хімічного складу металу в обсязі ковша, проаналізований вплив вибору інертного газу для продування якості металу.

У розділі 2 проведений розрахунок матеріального балансу плавки сталі марки 09Г2С у двохванному сталеплавильному агрегаті.

У розділі 3 досліджені процеси продувки сталі в ковші та в печі.

У розділі 4 розглянуто основні шкідливі фактори роботи в мартенівському

цеху та проведений розрахунок екрану мартенівської печі для захисту від теплового випромінювання робітників пічного прольоту.

Розроблена технологія рекомендується для дослідно-промислових випробувань в сталеплавильних цехах України.

Зміст

Вступ 8
1 Аналіз технологічних аспектів продування металевих розплавів газами 10
1.1 Перемішування розплаву у ковші 15
1.2 Механізм видалення розчинених у рідкому металі газів та неметалевих включень при продуванні його аргоном. 17
1.3 Видалення водню з металу під час продування його інертними газами ... 18
1.4 Видалення азоту з металу під час продування його аргоном 20
1.5 Видалення кисню та неметалевих включень із металу під час продування аргоном 20
1.6 Вплив позапічної обробки металу на усереднення температури та хімічного складу металу в обсязі ковша 22
1.7 Вплив вибору інертного газу для продування якості металу 23
1.8 Продування рідкого металу аргоном у ковші 24
1.8.1 Продування сталі в ковші зверху 24
1.8.2 Продування сталі через пористі вставки в днище ковша 27
1.8.3 Продування сталі аргоном через шиберний затвор 29
1.9 Дослідження процесу продування аргоном сталі в ковші 33
2 Розрахунок матеріального балансу плавки сталі марки 09Г2С у двохванному сталеплавильному агрегаті 41
3 Дослідження процесів продувки сталі в ковші та в печі 49
3.1 Вплив обробки металу аргоном в ковші на якість готової сталі 52
3.2 Визначення основних технічних положень з організації післяпродувного перемішування аргоном ванни 74
3.2.1 Дослідження поведінки домішок металу та компонентів шлаку 76
3.2.2 Оцінка впливу режиму продування на зміну температури ванни 77
3.2.3 Визначення оптимальної витрати аргону 78
3.2.4 Визначення раціональної концентрації вуглецю в металі перед початком продування 80
3.2.5 Дослідження впливу продування металу аргоном перед випуском плавки

на якість сталі 81
3.2.6 Особливості виплавки сталі марки 09Г2С з продуванням металу аргоном у ковші під час випуску плавки 83
4 Охорона праці та техногенна безпека 89
4.1 Аналіз основних шкідливих та небезпечних факторів на пічному прольоті мартенівського цеху 89
4.2 Заходи щодо усунення шкідливих та небезпечних факторів у мартенівському цеху 92
4.3 Протипожежна безпека у мартенівському цеху 96
4.4 Розрахунок екрану мартенівської печі для захисту від теплового випромінювання робітників пічного прольоту 97
Висновки 101
Перелік джерел посилання 103
Додаток А Публікації за темою кваліфікаційної роботи 105

ВСТУП

Зростаючі вимоги споживачів до якості металу змушують виготовляти сталі, що мають вузькі межі коливань хімічного складу та вмісту неметалевих включень.

Завданням отримання якісної сталі та сплавів, придатних для виготовлення відповідальних виробів, зводиться до розробки такої технології виплавки, розкислення та заключного етапу обробки металу, які можуть забезпечити мінімальний залишковий вміст шкідливих домішок, газів та неметалевих включень. Підвищений вміст, яких веде до зниження її механічних властивостей та збільшення кількості браку.

Вміст газів та неметалевих включень у рідкій сталі змінюється залежно від прийнятої технології виплавки. Однак необхідно враховувати і той факт, що із закінченням плавки в печі окислювальні та відновлювальні процеси не закінчуються. При випуску плавки струмінь металу на жолобі піддається впливу атмосферного повітря, у результаті продовжують розвиватися окислювальні процеси, і навіть відбувається поглинання азоту. Окислення елементів поза печі відбувається переважно результаті взаємодії струменів металу з киснем навколишнього повітря. Ступінь окислення елементів залежить від тривалості випуску плавки, від турбулентності і висоти падіння струменя металу. Таким чином, повітря, що інжектується струменем металу при випуску з печі, підвищує вміст водню, кисню та азоту, внаслідок чого погіршується якість та утруднюється отримання хімічного складу сталі в заданих межах.

Практика показала, що одержання якісної сталі з мінімальною кількістю газів неможливе без застосування додаткових методів обробки рідкого металу.

Велику роль отриманні якісної сталі нині грає ковшева металургія. Найбільшого поширення з існуючих способів набула продування розплавленого металу нейтральним газом - аргоном, рідше азотом.

За допомогою обробки сталі аргоном у сталерозливному ковші успішно вирішуються такі завдання, як зниження вмісту водню, кисню, і неметалевих включень, вирівнювання температури та складу металу у всьому обсязі

сталерозливного ковша, збільшення щільності та однорідності готового прокату, зниження розкиду механічних властивостей металу від плавки плавці.

Застосування продування металу в ковші інертними газами дозволяє отримати збільшення продуктивності, скорочення браку за хімічним складом та дефектами поверхні. Підвищення чистоти сталі призводить до покращення розливу металу, а ця характеристика тісно пов'язана з якістю сталевого зливка та прокату.

У світовій практиці існує кілька способів інжекції газу в метал. Найбільш поширеними з них є: продування металу через хибний стопор, фурму: через пористі вогнетривкі пробки (блоки, вставки), встановлені в днищі ковша або бічних стінках; через пористе днище, але ці способи мають ряд недоліків: виключена можливість продування металу порошками, значні капітальні витрати, матеріаломісткість та трудомісткість.

Технологія інжекційної обробки сталі через шиберний затвор – найефективніша і не має цих недоліків. Вона включає продування металу аргоном, вдування в струмі порошкоподібних матеріалів і подачу твердих шлакоутворюючих сумішей.

1 АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНИХ АСПЕКТІВ ПРОДУВАННЯ МЕТАЛЕВИХ РОЗПЛАВІВ ГАЗАМИ

Останнім часом головну увагу почали приділяти підвищенню якості сталі шляхом подальшого покращення ступеня чистоти та зниження вмісту домішок: виконання підвищених вимог до температури та однорідності хімічного складу шляхом переходу на безперервне розливання сталей.

Велике значення у виконанні зазначених завдань має ковшева металургія.

Розробка способів ковшової металургії призвела до значної зміни технології сталеплавильного виробництва.

Найбільшого поширення із способів ковшової металургії набула продування металу в ковші нейтральним газом.

Продування металу нейтральними газами сприяє дегазації металу, полегшуючи виділення розчинених у ній газів.

Як нейтральний газ у більшості випадків використовується аргон і рідше азот. Бульбашки аргону, що піднімаються в металі, є свого роду колекторами для розчинених у розплаві газів, так як парціальний тиск водню, азоту та окису вуглецю в бульбашці в початковий момент є нульовим. З іншого боку аргон, що вдується в метал, викликає його додаткове перемішування, збільшуючи тим самим винесення глибинних шарів металу на поверхню сприяючи вирівнюванню хімічного складу і температури металу в об'ємі сталерозливного ковша.

Змінюючи тривалість продування, тобто. кількість аргону, в окремих випадках можливо регулювати температуру металу, що розливається, витримуючи її в строго певних вузьких межах. Існує кілька способів продування металу аргоном. Широке поширення за кордоном отримав спосіб продування металу аргоном під час випуску плавки або після випуску плавки шляхом подачі аргону під тиском через пористі пробки або вставки, встановлені в днищі сталерозливного ковша або збоку в стінах ковша. Найкращі властивості мають пористі пробки з глинозему (98% - Al_2O_3).

Останнім часом у Японії застосовуються пористі вставки з спрямованою пористістю.

На заводі у Франції високоякісну сталь (0,3-0,45 % С) продували аргоном через дві пористі пробки встановлені в днищі ковша. Плавки вагою 32 т продували протягом 2,5-10 хв. витрачаючи 0,05-0,25 $м^3$ аргону на 1 т сталі. Істотного зниження концентрації азоту та водню за час продування не виявлено. Однак сумарна концентрація кисню в сталі зменшувалась при цьому приблизно на 30% відповідно знижувалася і забрудненість сталі різними неметалічних включеннями.

В результаті дворічних досліджень приблизно до аналогічних результатів дійшли на заводі в Донавіце Австрія, де в тридцятитонному ковші продували аргоном підшипникову сталь. Забрудненість цієї сталі оксидними включеннями зменшилася на 40-60% за мінімальної витрати аргону. Температура металу в ковші за п'ять хвилин продування падала на 20-25°С, концентрація водню та азоту у сталі не змінювалася.

Стаціонарна установка складається із стенду на який встановлюється ківш поворотного механізму із закріпленою фурмою, через яку подається аргон пульта управління, майданчики для обслуговування. Фурма є порожнистим металевим стрижнем на якому набрані стопорні вогнетривкі трубки і пробка у верхній частині фурми є аргонопровідна головка з'єднана з аргонопроводом. Для набирання фурм застосовують шамотні або високоглиноземні трубки.

Фурма кріпиться до стріли поворотного механізму. Фурма крім обертання може підніматися та опускатися. Фурма поворотом стріли встановлюється над віссю ковша з металом, потім включається аргон і поступово занурюється в метал. Глибина занурення 300-400 мм від дна ковша. Обробка металу аргоном проводиться з витратою газу від 30 до 120 $м^3$ при тиску перед фурмою 0,3 МПа протягом 10-15 хвилин. На більшості заводів обробку металу аргоном ведуть у комплексі з рафінуванням вапняно-глиноземістим синтетичним шлаком або іншими сумішами, що рафінують.

Так на комбінаті «Азовсталь» впроваджено технологію продування сталі аргоном у ковшах великої ємності перед розливом на МБЛЗ. Встановлено оптимальні параметри технології продування сталі аргоном, що забезпечують усереднення хімічного складу та температури металу в ковші з метою створення

оптимальних умов розливання на МБЛЗ.

На Новолипецькому металургійному комбінаті освоєно комплексну технологію виплавки якісних низьколегованих сталей широкого сортаменту з обробкою металу аргоном, розкисленням і легуванням металу в ковші рідкими феросплавами з рафінуванням синтетичним шлаком, обробкою порошкоподібними реагентами в струмені.

Вміст сірки в готовій сталі 17Г2АФ знижено до 0,003-0,008%, досягнуто високої хімічної та теплофізичної однорідності легованого металу не тільки в об'ємі ковша, а й від плавки до плавки.

На Челябінському меткомбінаті освоєно технологію продування сталі аргоном 100 т ковша. При продуванні забезпечується енергійний і рівномірний барботаж всього обсягу розплаву дрібними бульбашками без оголення металу з-під шлаку.

На Західно-Сибірському комбінаті продування ведуть азотом через фурму, що занурюється. Сталі продувають такі: 09Г2Ф, 10Г2С1, 10ГС, 3ГПС, 5 ГПС, 30,40,35, сталі 10-20, сталь 3СП, киплячі сталі 08 КП-20КП.

Продування дозволило підвищити однорідність сталі за хімічним складом, знизити відхилення по марганцю з 0,16-0,0004%, кремнію з 0,007-0,003%. Вміст азоту сталі збільшилася на 0,0001-0,0002%. Більш рівномірною стала температура металу обсягом ковша.

У конвертерному цеху металургійного комбінату ім. Дзержинського створено та освоєно комплекс позапічної обробки конвертерної сталі, що включає дві установки для продування сталі в ковші аргоном та встановлення комплексного доведення сталі (УДМ) аргонні установки розташовані на сталевозних коліях. УДМ знаходиться між аргонними установками, для неї передбачено спеціальний сталевоз.

До складу аргонних установок входять пристрої для переміщення продувних фурм, виміру температури та окиснення металу, відбору проби сталі з пневмопоштою, занурення в ківш прокатної заготовки для охолодження металу.

На УДМ додатково проводиться коригування хімічного складу та

мікролегування сталі добавкою в ківш кускових феросплавів та алюмінієвої катанки, рафінування її порошкоподібними матеріалами. Тут передбачено також обладнання для засипання дзеркала металу в ковші теплоізолюючою сумішшю при відсіканні шлаку.

Обробка сталі аргоном дозволила зменшити кількість ковшів із залишками металу з 41,7 до 2,1 %, знизити температуру металу на випуску з конвертера на 10-15°З допомогою поліпшення її розливання. Доведення сталі після температури і хімічного складу забезпечило підвищення якості металопрокату. Зменшено кількість гуркотів злитків із рванинами на 6%. Підвищена однорідність металу за Вмістом основних елементів по ходу розливання металу у виливниці та від плавки до плавки. Це сприяло стабілізації властивостей сталі та збільшення обсягу випуску прокату, диференційованого за групами міцності.

Останнім часом набула поширення продування металу аргоном у ковші через шиберний затвор. Це особливо прийнятно в сталеплавильних мартенівських цехах, де важко спорудження стаціонарних установок із позапічної обробки сталі, через відсутність місця на їх розміщення.

Нині значно зросли вимоги споживачів різних галузей промисловості щодо якості сталі.

Завдання отримання якісної сталі або сплавів, придатних для виготовлення відповідальних виробів, зводиться до розробки такої технології виплавки, розкислення та заключного етапу обробки металу, які можуть забезпечити мінімальний залишковий вміст шкідливих домішок, газів та неметалевих включень [1]. Підвищений вміст неметалевих включень та газів у сталі веде до зниження її механічних властивостей та збільшення кількості браку [2].

Вміст газів і неметалевих включень до рідкої сталі змінюється залежно від прийнятої технології виплавки [1]. Однак, необхідно враховувати і той факт, що із закінченням плавки в печі окислювальні та відновлювальні процеси не закінчуються. При випуску плавки струмінь металу на жолобі піддається впливу атмосферного повітря, внаслідок чого продовжують розвиватися окислювальні процеси, а також відбувається поглинання азоту. Як показують дані дослідників, окислення елементів поза печі відбувається в основному в результаті взаємодії

струменів рідкої сталі з киснем навколишнього повітря. Ступінь окислення елементів залежить від тривалості випуску плавки, від турбулентності і висоти падіння струменя металу. Таким чином, повітря, що інжектується струменем металу при випуску з печі, підвищує вміст водню, кисню та азоту, внаслідок чого погіршується якість та утруднюється отримання хімічного складу сталі в заданих межах [3].

Автори роблять висновок, якщо до складу сталі входять елементи з високою спорідненістю до кисню і азоту (Al, Si, Cr), то при випуску метал особливо активно взаємодіє з атмосферним повітрям. Так, А.Т. Перев'язко, Н.М. Чуйко та ін. показали, що в конструкційних сталях, легованих титаном та алюмінієм, вміст неметалевих включень під час випуску збільшується у 2 – 2.5 рази [4].

Водень і азот, що знаходяться в металі, сприяють зниженню пластичності і збільшенню крихкості виробу [3].

Найбільш небезпечні не розчинені гази сталі, які відділення в окрему фазу. Виділення розчинених газів сталі відбувається на різних стадіях охолодження, звідси і різні пороки злитків. Гази, що виділяються під час кристалізації сталі, суттєво впливають на кристалічну будову зливка. Підвищений вміст водню в сталі призводить до утворення газових бульбашок та несплошності структури [5].

Через утворення самостійної газової фази в металі виникають внутрішні напруги, що у свою чергу веде до утворення тріщин.

Часто утворення самостійної газової фази відбувається у вже готовому виробі. Повільне виділення азоту із готової сталі називається старінням і веде до значного погіршення її механічних властивостей [4].

Практика показала, що одержання якісної сталі з мінімальною кількістю газів неможливе без застосування додаткових методів обробки рідкого металу.

З метою зниження вмісту розчиненого в готовому металі водню на заводах чорної металургії широко застосовують додаткові штучні заходи при виплавці сталі. До них відносяться різні способи прожарювання вихідних матеріалів, призначених як шихта або легуючих елементів і феросплавів, ретельне сушіння

жолобів печі та футерування сталерозливного ковша [4].

Велику роль отриманні якісної сталі нині грає ковшева металургія [6]. Найбільшого поширення з існуючих способів ковшової металургії набула продування розплавленого металу в ковші нейтральним газом - аргоном, рідше азотом [5].

За допомогою обробки сталі аргоном у сталерозливному ковші успішно вирішуються такі завдання, як зниження вмісту водню, кисню та неметалічних включень, вирівнювання температури та складу металу у всьому обсязі сталерозливного ковша, збільшення щільності та однорідності готового прокату, зниження розкиду механічних властивостей металу від плавки [6].

Застосування продування металу в ковші інертними газами дозволяє отримати збільшення продуктивності, скорочення браку за хімічним складом та дефектами поверхні. Підвищення чистоти сталі призводить до поліпшення розливу металу, а ця характеристика тісно пов'язана з якістю сталевого зливка і прокату [3].

Слід зазначити, що результати ефективності дегазації та очищення металу від неметалевих включень такий спосіб часто не поступається вакуумування різними методами [7].

Враховуючи простоту оформлення пристроїв для позапічної обробки металу інертними газами, їх доступність і відсутність великих капітальних витрат у порівнянні з установками для вакуумування [4], а також менший ступінь необхідного перегріву металу, більш спокійний характер процесу, та можливість використання в цехах, де -за нестачі площі не можна поставити установку для вакуумування металу, перевага продування сталі при атмосферному тиску є очевидною [7].

1.1 Перемішування розплаву у ковші

У процесах рафінування металу, усереднення хімічного складу та температури в обсязі ковша важливе значення має перемішування металу за його подальшої обробки [8]. У разі обробки металу в ковші аргоном під час випуску

плавки відбувається перемішування розплаву в ковші падаючим струменем металу і перемішування викликане продуванням аргоном. Робота перемішування складається з роботи падаючого струменя та роботи розширення газу.

Робота падаючого струменя A_1 і потужність перемішування N_1 можуть бути визначені за рівняннями [9]:

$$A_1 = 9.81\ hm;\ N_1 = 9.81\ hm/t \qquad (1.1)$$

де h – висота падіння струменя;

m – маса металу в ковші;

t – час випуску плавки.

Характерним для цього способу перемішування є те, що з часом у міру наповнення ковша потужність перемішування знижується і припиняється повністю після випуску плавки [8].

Так, при випуску плавки масою 100 т та висоті металу в ковші 2.6 м робота перемішування змінюється з 40.8 кДж/т на початку випуску до 15 кДж/т наприкінці випуску. Для 300-тонної плавки значення роботи перемішування дорівнюють 54.5 кДж/т та 17.3 кДж/т на початку та в кінці випуску відповідно. Отже, найбільша робота і потужність перемішування спостерігаються на початку випуску, найменші - в кінці, при цьому зі збільшенням маси металу, що випускається робота і потужність перемішування збільшуються [9].

Значення роботи та потужності перемішування падаючого струменя говорять про те, що самі по собі вони є достатніми для рафінування металу в процесі випуску.

Продування рідкого металу аргоном в обсязі ковша сприяє інтенсифікації перемішування рідкого розплаву. У разі робота перемішування визначається як робота розширення газу [10].

Робота перемішування A_2 під час продування металу аргоном у ковші може бути визначена за рівнянням Н.М. Чуйко:

$$A_2 = 5.85 \cdot \lg \frac{1 + H_м}{1} \qquad (1.2)$$

де $1+H_м$ – висота стовпа рідини від днища до подини сталевипускного жолоба.

При масі плавки 100 т і висоті металу в ковші 2.6 м робота перемішування при продуванні металу інертним газом змінюється з 4.3 кДж/т на початку наповнення ковша до 25 кДж/т в кінці наповнення. При масі плавки 300 т і висоті металу в ковші 3.8 м робота розширення дорівнює 6 кДж/т та 31 кДж/т на початку та в кінці наповнення відповідно.

Таким чином, у звичайних умовах продування головну роль при перемішуванні металу грає робота падаючого струменя при випуску розплаву з печі в ківш. Продувка аргоном буде ефективнішою в ківшах малої місткості, де робота падаючого струменя невелика [8].

Наведені результати розрахунків дозволяють раціонально використовувати продування металу аргоном у ковші під час випуску плавки.

1.2 Механізм видалення розчинених у рідкому металі газів та неметалевих включень при продуванні його аргоном.

Встановлено, що продування металу інертними газами сприяє дегазації, полегшуючи виділення розчинених у сталі газів, видалення неметалевих включень. Безперечно, що ступінь видалення неметалевих включень і газів з розплаву багато в чому залежить від вибору виду продувки та її технологічних параметрів, від тиску газу, інтенсивності продування, тривалості обробки металу в ковші [10].

Однак у цілому механізм, яким відбувається рафінування металу при продуванні його аргоном можна наступним чином.

Дегазуюча дія будується на принципі дифузії розчинених у сталі газів до поверхні готових бульбашок продуваного газу, адсорбції газу на поверхні, часткової молізації. Бульбашки аргону, що піднімаються в металі, є свого роду колекторами для розчинених у розплаві газів, так як парціальний тиск водню, азоту, окису вуглецю в бульбашці в початковий момент дорівнює нулю, внаслідок чого газ, розчинений у розплаві, дифундує бульбашки аргону і виносить атмосферу. Причому ефективність дегазації зростає із зменшенням розміру бульбашки газу, оскільки у своїй різко зростає питома площа розділу газ

- метал, тобто. зі збільшенням кількості бульбашок загальна площа контакту газу з розплавом зростає [11].

Таким чином, відбувається екстрагування розчинених газів, головним чином водню та меншою мірою азоту. Барботування металу в ковші численними бульбашками, з одного боку, «зменшує довжину пробігу» дифузного атомарного газу, а з іншого полегшує і посилює флотаційні процеси видалення неметалевих включень продуктів реакції розкислення, що розвиваються в ковші у зв'язку зі зниженням температури металу. Як зазначалося вище, аргон, що продувається через шар металу, викликає його додаткове перемішування, збільшуючи тим самим винесення глибинних шарів металу на поверхню, сприяючи вирівнюванню складу і температури металу в об'ємі сталерозливного ковша і спливанню великих включень [10].

Змінюючи тривалість продування, т. е. кількість аргону, в окремих випадках, можливе регулювання температури металу, що розливається, витримка її в строго вузьких межах [12].

1.3 Видалення водню з металу під час продування його інертними газами

На якість сталі впливає кількість розчинених у ній газів. Особливо великі дефекти сталі викликаються розчиненим у ній воднем [4].

Механізм видалення водню з рідкої сталі під час продування її аргоном аналогічний описаному вище, тобто. розчинений водень дифундує готові бульбашки аргону, в яких парціальний тиск інших газів мізерно мало. На поверхні бульбашок аргону відбувається рекомбінація водню на молекулярний стан. В результаті цього процесу склад газу в бульбашці поступово наближається до рівноважного по відношенню до газу, розчиненого в сталі [11].

Швидкість видалення водню з розплаву без урахування поглинання газів з атмосфери може бути представлена рівнянням:

$$V_{H_2} \approx K[H]^2 \qquad (1.3)$$

де К – коефіцієнт пропорційності;

[H] - концентрація водню, розчиненого у металі.

За даними проведених експериментів, коефіцієнт пропорційності К загальному випадку залежить від наступних величин:

$$K = f(\frac{h}{r} \cdot \frac{Q}{V} t), \quad (2.4)$$

де h - висота підйому бульбашок інертного газу металі;

Q – витрата інертного газу;

t - температура металу під час продування;

r – радіус газового міхура;

V - обсяг металу, що обробляється.

Отже, швидкість видалення водню з рідкої сталі при продуванні її інертним газом залежить від його початкової концентрації в розчині (що вище початкова концентрація водню, тим з більшою швидкістю він видаляється під час продування ванни інертними газами), витрати аргону, розміру газових бульбашок, що формуються, висоти їх підйому, температури та об'єму металу, що продується. Таким чином, при донній продувці металу в ковші створюються сприятливі умови для видалення водню, оскільки в цьому випадку можна обробляти товщу металу по висоті, витрата інертного газу може регулюватися тривалістю продування [13].

Природа газу, що вдується, не взаємодіє з воднем при температурі продування, ймовірно, не надає помітного впливу на швидкість видалення водню. Справді, у своїх роботах Б.А. Баум, К.Т. Курочкін і П.В.Умрихин досліджували кінетику дегазації металу під час продування його інертними та активними по відношенню до водню газами. Було показано, що швидкість дегазації залежить від природи інертного газу.

А.Г. Рабинович і М. М. Чуйко показали, що продування металу з метою дегазації тим ефективніше, чим більше значення питомої поверхні контакту металу та газу, що продувається. Дослідники встановили, що дегазація

збільшується за умови зменшення розмірів бульбашок газу, що вдується, їх рівномірному розподілі в металі, зі збільшенням витрати продувається газу і товщини шару продуваного металу. Також зазначено, що видалення водню стабілізується і підвищується під час переходу від розкисленого металу до нераскисленному низколегированному.

1.4 Видалення азоту з металу під час продування його аргоном

Залежність швидкості видалення азоту, як і водню, може бути описана рівнянням:

$$V_{N_2} \approx K[N]^2 \tag{1.5}$$

де V_{N_2} - Швидкість видалення азоту:

K – коефіцієнт пропорційності;

[N]-концентрація азоту, розчиненого в рідкому металі.

Видалення азоту з рідкого металу під час продування його інертними газами пов'язане з хімічним складом оброблюваної сталі [16]. У разі обробки легованої сталі інертним газом, у складі якої є елементи, що підвищують розчинність азоту або утворюють стійкі нітриди, концентрація азоту практично не змінюється. Подібна залежність видалення азоту від хімічного складу сталі при вакуумуванні була встановлена А.М. Самаріним [17].

1.5 Видалення кисню та неметалевих включень із металу під час продування аргоном

До кінця плавки кисень сталі практично повністю перебувати у зв'язаному стані у вигляді включень [17]. На ступінь видалення неметалевих включень з рідкого розплаву впливають такі фактори, як інтенсивність продування, спосіб подачі газу, хімічний склад, розміри та форма включень [16].

При продуванні аргоном розкисленої сталі вміст у ній кисню значно

знижується. Це відбувається внаслідок спливання оксидних включень, що флотує на них впливу бульбашок аргону і більш інтенсивною в порівнянні зі звичайною циркуляцією металу в ковші. Неметалічні частинки, що утворюються в результаті розкислення в рідкій сталі, можуть за сприятливих умов під впливом поверхневого натягу і взаємного тяжіння укрупнюватися. Цей процес можливий завдяки коалесценції, коли кілька однорідних або різнорідних формувань зливаються в одне більше включення, в якому відсутні поверхні розділу складових окремих частинок [15].

Збільшення розмірів включень можливе також внаслідок спікання або злипання один з одним різнорідних або однотипних включень, але із збереженням поверхні розділу.

Вважають, що коалесценція має місце, коли на укрупнення піддаються однорідні або різні за складом рідкі включення в металі.

Коагуляція ж відбувається при зіткненні твердих включень або при зустрічі та зіткненні твердих включень з рідкими, також при злипанні малорозчинних один в одному неметалевих формувань.

Процесу коагуляції та коалесценції має передувати звільнення від рідкого металу контактуючих поверхонь частинок, що з'єднуються, у зв'язку з чим при укрупненні включень витрачається робота адгезії на подолання сил прилипання включень до металу [17].

Робота адгезії зменшується зі збільшенням міжфазного натягу межі рідкий метал включення, тому умови укрупнення включень полегшуються, оскільки тривалість контакту цих включень з металом зменшується [18].

Головними причинами, що сприяють частішій зустрічі зважених у металі включень, їх укрупненню та спливу в шлак, є енергійне перемішування та циркуляція металу [18].

При продуванні металу в ковші інертним газом під шаром шлаку велике значення для успішного видалення неметалевих включень зі сталі має поглинання шлаковим покривом. В.І. Явойський вказує, що чим більша міжфазна питома енергія на кордоні метал - включення і чим більше адгезія шлаку до включень, тобто чим менше міжфазне натяг на межі включення шлак,

тим легше включення, що спливли з металу, поглинаються шлаком і асимілюються ним [19].

Навпаки, шлаки, які погано змочують включення, не пристосовані до їхньої асиміляції. І тут між металом і шлаком формується шлако-металлическая перехідна зона, коли він немає гарантій отримати чистий від неметалевих включень метал [18].

Встановлена зв'язок між кількістю неметалевих включень, що видаляються при продуванні сталі аргоном і вмістом в шлаку FeO.

$$[\Delta_{н.В.}] = 100 - 71.3(FeO), \quad (1.6)$$

З цього рівняння випливає, що за Вмістом (FeO) 0.3% видалення включень $[\Delta_{н.В.}]$=78.5 % , а при (FeO) =1.4 % зниження вмісту включень немає і навіть спостерігається підвищення його[20].

Зі сказаного вище можна укласти наступне: при продуванні рідкого металу аргоном в ковші створюються сприятливі умови для протікання процесів коагуляції і коалесценції, що сприяє формуванню великих частинок; включень; у ковші під час продування інертним газом сприяє більш частому контакту включень зі шлаком та асиміляції їх шлаком [17].

1.6 Вплив позапічної обробки металу на усереднення температури та хімічного складу металу в обсязі ковша

При зливі металу зі сталеплавильного агрегату в ківш поряд дослідників було встановлено відмінність хімічного складу сталі перед розливом. Причиною цього є наявність в розливному ковші зони підвищеної температури. та необробленими аргоном [21 - 23].

З метою усереднення хімічної неоднорідності низьколегованих марок сталей на Єнакіївському заводі було проведено досвідчені плавки з продувкою металу у ковші аргоном. На підставі даних про хімічний склад проб металу, відібраних по ходу розливу, можна зробити висновок про те, що продувкою в ковші газом можна повністю усунути хімічний та температурний перепад по всьому об'єму ковша [18].

В результаті продування метал ставати більш рідинним [11].

1.7 Вплив вибору інертного газу для продування якості металу

Вплив виду газу, що продувається, на якість сталі вивчали на численних дослідних плавках. Для продування металу в дослідах були використані такі гази як аргон, азот і гелій.

Дослідні плавки з продуванням азотом трубної та колісної сталі на заводі ім. К. Лібкнехта показали практично однакову ефективність рафінування металу як аргоном, і азотом. Але при використанні азоту як продувного газу спостерігалося невелике збільшення концентрації азоту в обробленому металі.

З урахуванням того, що азот набагато дешевше за аргон, для обробки в ковші спокійних сталей цілком можлива заміна аргону на азот. Однак при виробництві автомобільних сталей така заміна небажана, оскільки з часом відбуватиметься старіння металу – повільне виділення азоту з готової сталі, що для цих сталей неприпустимо.

Результати визначення стійких оксидних включень в обробленій аргоном та гелієм сталі наведені у таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Вміст стійких оксидних включень у сталі продутої у ковші різними газами

Газ	Число плавок	Загальна кількість неметалевих включень, %	Основні складові неметалевих включень			
			SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	Cr_2O_3
Чи не продували	3	0,0170	7,0	90,5	0,7	1,0
Аргон	3	0,0030	-	-	-	-
Чи не продували	2	0,0174	7,2	90,3	0,7	0,6
Гелій	2	0,0029	-	-	-	-

З даних дослідження можна зробити висновок, що вид застосовуваного газу для продування сталі практично не впливає на результати, оскільки у всіх випадках при використанні аргону і гелію в металі знижувалася кількість неметалевих включень. І відповідно таке різке зменшення вмісту неметалевих включень не могло не вплинути на поліпшення механічних властивостей сталі. Однак використання гелію для продування в коші сталі масового призначення обмежується його високою вартістю та дефіцитністю.

Таким чином, з наведених вище даних можна зробити висновок, що для продування в ковші сталі масового призначення оптимальним варіантом є використання інертного газу аргону.

1.8 Продування рідкого металу аргоном у ковші

У світовій практиці існує кілька способів продування в ковші рідкого металу аргоном. Найбільш поширеними з них є: продування металу через хибний стопор, фурму; через пористі вогнетривкі пробки (блоки, вставки), встановлені в днищі ковша або в бічних стінках, через пористе днище; через шиберний пристрій [2].

В цілому всі способи обробки рідкої сталі інертним газом в ковші є ефективним засобом підвищення якості металу, що дозволяє ефективно очищати метал від неметалевих включень, газів, добиватися хорошого усереднення розплаву за хімічним складом та температурою [8].

1.8.1 Продування сталі в ковші зверху

Продування сталі в ковші зверху проводиться через хибний стопор або через занурену футеровану фурму.

Стаціонарна установка для продування металу через занурювальну фурму складається із стенду, на якому встановлюється ківш, поворотного механізму із закріпленою фурмою, через яку подається аргон, пульта управління, майданчики для обслуговування.

Фурма є порожнистим металевим стрижнем, на якому набрані стопорні вогнетривкі трубки, щоб уникнути згоряння фурми. У верхній частині фурми є аргонопровідна головка, з'єднана з аргонопроводом. Для набору фурм застосовують шамотні або високоглиноземні трубки марки СП-4 або СП-7 за ГОСТ 5500-75. Занурювальну фурму перед використанням попередньо нагрівають для запобігання тепловому чаду і розтріскування футерування.

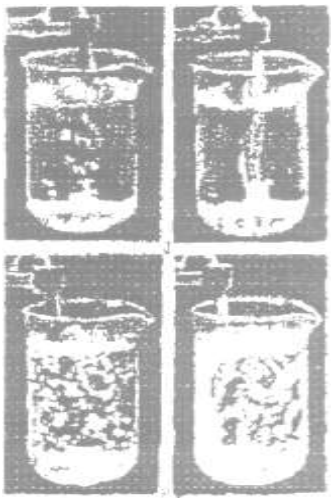


Рисунок 1.1 – Моделювання продування

Фурма кріпиться до стрілки поворотного механізму. Крім обертання фурма може підніматися та опускатися. Поворотом стріли вона встановлюється над віссю ковша із металом. Після чого включається аргон, і фурма поступово занурюється у розплав [7]. Стійкість фурми залежить від температури оброблюваного металу, складу та кількості ковшового шлаку та часу обробки. Зазвичай стійкість фурм з високоякісної мулітової футеровки коливається від 3 до 20 плавок, [8] Для вивчення руху розплаву обсягом ковша при продуванні його аргонів через занурювальну фурму були проведені досліди з моделювання руху [4]. У дослідах була використана вода в якості моделюючої рідини та паперові кружечки діаметром 5мм. Проводилися досліди у склянках із внутрішнім діаметром 85 мм та висотою стовпа води 110 мм.

Як продувний газ використовувався аргон. На рис. 1.1 наведено фотографії найбільш характерних дослідів.

Як показують результати дослідів, при центральному положенні фурми щодо склянки інтенсивного перемішування рідини не виявляється, всі папірці залишаються на дні склянки. При положенні фурми ближче до стінки склянки при створенні навіть невеликого газового потоку папірці захоплюються і несуть з дна ковша. Виниклий рух надалі перетворюється на замкнене, яке захоплює весь вміст у склянці.

Результати дослідів із моделювання не можуть бути без відомих корективів перенесені на продування рідкої сталі аргоном.

Збудливі потоки при продуванні великих мас металу газами у великих розливних ківшах не піддаються безпосередньому спостереженню, однак, автори дослідів вважають, що вони будуть подібні до встановлених у дослідах на моделі [3].

Найбільш раціональним є занурення фурми на глибину 400-500 мм від дна ковша, розташованої на відстані половини радіусу від його стінки. У цьому випадку циркуляційні потоки мають більшу потужність.

Останнім часом застосовують фурми зі зміненою конфігурацією вихідного отвору. Так, замість звичайних циліндричних отворів застосовуються щілинні отвори, які дозволяють збільшити інтенсивність продування за рахунок більшого роздроблення газового потоку, тим самим збільшуючи поверхню контакту метал - газ [4].

Іноді барботування рідкого металу бульбашками аргону відбувається через пористі пробки, встановленими на фурмі з метою зменшення розміру газових бульбашок [8].

Продування сталі зверху здійснюють так само через помилковий стопор з газопроникною пробкою, являє собою порожнистий стрижень, зафутерований стопорною шамотною котушкою. Вогнетривка пробка має 10-15 радіально розташованих отворів діаметром 0.5-1.0 мм. При продуванні через хибний стопор було виявлено ряд недоліків, до яких можна віднести неможливість подачі великої кількості газу, малий обсяг оброблюваного металу, сильне просочення металом газових отворів, часте руйнування стопора, внаслідок чого підвищується забрудненість сталі. Авторськими свідченнями та патентами різних країн було запропоновано замінити багатоканальний вогнетрив пористим. Ця заміна дозволила підвищити стійкість стопора, збільшити пропускну здатність устрою.

Слід зазначити, що загалом продування металу аргоном зверху характеризується надійністю та відносною безпекою.

На більшості заводів практикувалася та практикується обробка металу аргоном або азотом через занурювальну фурму з вдуванням порошкоподібних реагентів у струмені інертного газу. Така обробка може проводитися в комплексі

з рафінуванням вапняно-глиноземистим синтетичним шлаком або іншими сумішами, що рафінують. Що дозволяє, крім видалення неметалевих включень, газів, усереднення температури та хімічного складу, що забезпечує продування аргоном, додатково розкислити та знесерити метал [3].

Так, на Новолипецькому металургійному комбінаті було освоєно комплексну технологію отримання низьколегованих сталей широкого сортаменту. Сталь розкисляли і легували в ковші місткістю 300 т рідкими феросплавами, рафінували синтетичним шлаком з одночасною продуванням через занурювальну фурму. Також практикувалася обробка рідкого металу порошкоподібними реагентами в струмені аргону.

При цьому вдавалося домогтися зниження вмісту сірки в готовій сталі марки 17Г2АФ до 0.003-0.008%, а також досягти високої хімічної та теплофізичної однорідності легованого металу не тільки в обсязі ковша, а й від плавки до плавки.

Незважаючи на переваги продування сталі в ковші зверху, таке продування має ряд серйозних недоліків, які необхідно виключити. Так, при продуванні сталі через хибний стопор чи занурювальну фурму є області з максимальної потоку, що у зоні барботажа, викликаного струменем газу, У разі на вільній поверхні металу є області, що у статичному стані, тобто. розподіл швидкостей за обсягом ковша буде нерівномірним і матиме місце утворення застійних зон. Крім цього відбувається сильне вирування металу навколо стопора та фурми і, як наслідок, підвищене розмивання матеріалу та забруднення ним сталі [8].

1.8.2 Продування сталі через пористі вставки в днище ковша

Для усунення недоліків продування металу зверху було запропоновано встановити пористий елемент у днище сталерозливного ковша. Спочатку для цієї мети використовувалися багатоканальні і щілинні фурми. Однак вони не знайшли широкого застосування через незручність їх експлуатації, складність їх виготовлення та низьку стійкість. Продування металу в ковші газом набуло значного поширення після отримання пористих вогнетривів (пробки, вставки) з

високою газопроникністю [7]. Спочатку, з метою безпеки, пористі вироби укладали металеву касету. Промислові досліди показали, що в цьому немає необхідності, достатньо встановити блок у приварену до днища ковша обичайку та ущільнити шви вогнетривким цементом.

Спосіб продування металу аргоном шляхом подачі газу під тиском через пористі пробки або вставки, встановлені в днищі звичайного стопорного сталерозливного ковша або збоку в стінках ковша набув широкого поширення. Оскільки при цьому досягалося хороше перемішування металу, ефективна його дегазація та видалення неметалевих включень.

Кількість пористих пробок, зазвичай, становить від однієї до трьох. Для обробки металу інертними газами в промислових умовах застосовували ковші з однією пористою вставкою діаметром 100 мм, розташованою в центрі дна ковша, та з трьома пористими вставками такого ж діаметра, розташованими по колу. При встановленні одного продувного пристрою інтенсивність продування обмежується поведінкою дзеркала металу, що знаходиться в ковші. При підвищеному витраті інертного газу дзеркалі утворюється сильний бурун, який оголює метал, і ефективність рафінування різко падає через підвищеного вторинного окислення сталі у районі буруна [8]. З іншого боку, під час продування через пористу пробку, встановлену у центрі ковша, розподіл швидкостей за обсягом буде нерівномірним, тобто. існуватимуть області, які не беруть участь у загальному барботажі рідкого металу.

Для усунення цих недоліків було запропоновано встановлення кількох продувних пристроїв. У цьому випадку газ з балона подавали через гнучкий шланг, з'єднаний із газопроводами ковша. З газопроводу газ потрапляв до розподільчої коробки, розташованої в центрі днища ковша, звідки він надходив до пористих вставок. Така схема продування металу в ковші давала досить непогані результати, оскільки дозволяла отримати розосереджене дуття, тим самим підвищуючи ККД продування [7]. В цьому випадку відбувається потужне рівномірне барботування по всьому об'єму ковша, утворення застійних зон не спостерігається [28]. Як показали дослідження, задовільними властивостями мають пористі блоки, виготовлені з мас крупнозернистого складу з

використанням як наповнювач шпинелі або високоглиноземистого шамоту.

Стійкість пористих вогнетривких вставок досягає 5 плавок [27].

При продуванні металу аргоном через пористі пробки в днище ковша можна обробляти товщу металу по всій висоті, при цьому продування здійснюється численними дрібними бульбашками інертного газу. Таким чином, створюються виключно сприятливі умови для дегазації та видалення неметалевих включень [15].

На Челябінському металургійному комбінаті вперше було освоєно технологію продування сталі аргоном через пористі пробки у 100-тонному ковші. Під час продування забезпечувався енергійний і рівномірний барботаж всього об'єму металу дрібними бульбашками без оголення металу з-під шлаку. Проведений аналіз обробленого металу свідчив про значне зниження вмісту розчиненого в металі водню, а також видалення неметалевих включень [8].

Зі сказаного вище слід, що продування металу через пористі вогнетривкі вставки в днище ковша дозволяє отримувати хороші результати з рафінування металу, усереднення температури і хімічного складу в обсязі ковша. Проте характеризується високими витратами придбання пористих пробок [7], виготовлення яких потрібні високоякісні вогнетриви (або спечений муліт, або плавлений корунд, або силікат цирконію). До того ж продування металу через пористі вставки пов'язане з високою ймовірністю аварійних ситуацій.

1.8.3 Продування сталі аргоном через шиберний затвор

Такий спосіб підведення газу вперше був реалізований на Руставському металургійному комбінаті, де сталь виплавляли скрап-рудним процесом у 200 мартенівських печах і випускали в ківш з шамотною футеровкою, обладнаний шиберним затвором. Подача аргону в ківш здійснювалося через продувний пристрій, що закріплюється в каналі затвора шиберного і з'єднане з аргонопроводом через гнучкий шланг [29].

Після цього цю технологію впроваджено на комбінатах ДМК, Череповецького, Магнітогорського, Кузнецького, у тому числі і на комбінаті «Запоріжсталь» [30].

Продувний пристрій.

Продувний пристрій, що вводиться в шиберний затвор (рис. 1.2), складається з 1 трубки з внутрішнім діаметром 10 -16 мм і довжиною 850 мм. У трубку зі стрижнем вставляється на всю довжину металевий стрижень діаметром 9-10 мм. Трубка зі стрижнем вставляється в центральний отвір муфти 2 і закріплюється гвинтом 3. Зазор між трубкою та муфтою раніше забивався азбестом. На поверхню муфти продувного пристрою намотували шнуровий азбест. У процесі експлуатації пристрій для продування аргону через шиберний затвор зазнав деяких змін. Так, відмовилися від намотування шнурового азбесту на верхній патрубок муфти.

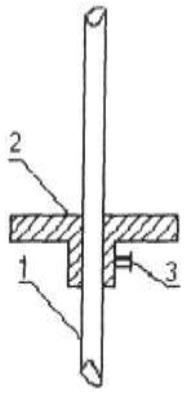


Рисунок 1.2 – Схема продувного пристрою

Верхній патрубок взагалі було прибрано. Замість азбесту застосовано вогнетривку масу, яка виноситься на верхній торець муфти і притискається до склянки-колектора. Крім того, для надійного кріплення струбцина, яка притискає пристрій для продувки до шиберного затвора, встановлюється на цапфах кришки шиберного затвора. Для економії шлангів використані кисневі трубки, які з'єднуються від аргонопроводу до ковша невеликими шматками шланга. Внаслідок цього зменшилася кількість спалених шлангів. Відпала необхідність засипання лунки та склянки ставроліту шляхом опускання розливника у ківш. Засипка ставролітом проводиться зверху ковша через трубу, як це робиться під час підготовки всіх ковшів до випуску плавки.

Після введення трубки зі стрижнем в центральний отвір муфти і закріплення гвинтом довгий кінець трубки вводиться в сталевипускний канал

відкритого шиберного затвора до зіткнення шайби муфти з торцевою поверхнею склянки колектора, повільно закривають шиберний затвор, затискаючи трубу. Перед цим на шайбу муфти наноситься магнітно-залізна маса. Зазор між трубкою та шиберним затвором засипався сухим ставролітовим концентратом, що забезпечує випадання продувної трубки при відкритті шиберного затвора перед розливом. Інакше доводиться марнувати склянку киснем.

На кінець трубки, що виступає назовні, довжиною 70 - 100 мм кріпиться стандартним затиском кисневий шланг для підведення аргону. Кінець трубки всередині ковша височить над рівнем футерування днища ковша на 150 - 200 мм.

Підготовка пристрою для продування металу через шиберний пристрій, приєднання шланга до аргонопроводу і продувної трубки, засипка склянки ковша ставролітовим концентратом через трубку займає 30 хвилин.

Перед випуском металу із сталеплавильного агрегату продувний пристрій з'єднується з аргонопроводом. Вільна відстань під колектором при встановленні ковша під плавку повинна бути не менше 200 мм.

Перед надходженням металу в ківш проводиться відкриття регулювального вентиля і встановлюється тиск на виході з трубки продувки не менше 2 кгс/см^2, витрата аргону коливається від 0.03 до 0.10 м^3/т.

Продування аргоном проводиться до появи шлаку протягом усього випуску плавки, і тривалість її визначається тривалістю випуску.

Після випуску плавки шланг від'єднується від продувного пристрою та аргонопроводу, а ківш з металом транспортується до розливного майданчика.

Установку продувних пристроїв виготовляють на шиберних затворах з діаметром каналу склянки-колектора 60 мм. При цьому вогнетривкі деталі затвора можуть бути новими або після розливання попередньої плавки (за відсутності великих сколів нижнього торця склянки-колектора).

При підготовці ковша до випуску спокійної вуглецевої сталі, що розливається через склянку-колектор з каналом діаметром 35 мм, пристрій для продувки встановлюють в інший шиберний затвор (з діаметром каналу склянки-колектора 60 мм). Таке положення дозволяє виключити розмив каналу діаметром 35 мм (при необхідності застосування кисню на початку розливання плавки) та

вилив злитків з підвищеними швидкостями.

Перед початком розливу плавки, у разі потреби видалення продувного пристрою, від'єднують струбцину, послаблюють гвинт кріплення і знімають муфту з трубки продувки.

Після центрування склянки-колектора шиберного затвора над виливницею здійснюють відкриття шиберного затвора, його звільняють канал від засипки ставроліту або пропалюють киснем.

На Руставському заводі продування рідкого металу через шиберний пристрій здійснювалося азотом у 200-220 т ківшах. Тривалість продування становила 10-15 хвилин, при тиску 3-4 кгс/см^2 та витраті азоту 30 м^3 на плавку.

Продували такі марки сталі: трубні 10СП, 35СП, 38ГТ, 20Х, 40Х.

Було зазначено таке: за час продування вирівнюється хімічний склад сталі і знаходиться в межах ГОСТу між першими та останніми зливками. На плавках продутих азотом в обтискному цеху знижено брак на 0.10-0.15%.

Вихід труб II сорту зменшено на 2.5%, брак знижений на 0.005 – 0.01% абс. На продувних плавках збільшується межа міцності та межа плинності на 2 одиниці. Зниження газів та неметалевих включень встановлено не було.

За інформацією Дніпровського меткомбінату, де обробка рідкої сталі проводилася аналогічним чином, зменшено відхилення по марганцю, кремнію, фосфору, сірці за середньоплавковим аналізом сталі.

Вихід придатного прокату зливків збільшився на 3.2%. При обробці розплаву в ковші на 39% знижувалося вміст кисню у металі, проти необробленим металам. Обробка металу аргоном дещо зменшила тривалість розливання сталі.

На металургійному комбінаті «Запоріжсталь» після монтажу аргонопроводу та розведення його до печей № 1, 2, 5, 11, 12 на плавці № 1262710 сталі типу 09Г2 було вперше здійснено випробування подачі аргону через шиберний пристрій.

Тиск аргону при продуванні змінювали від 2 до 5.2 кгс/см^2, витрата аргону становила 80 м^3/годину, тривалість продування - 6 хвилин.

Аналіз проб металу, відібраних під час розливання, показав такі результати: відхилення від ковшової проби по марганцю становило - 0.05%, по

кремнію - 0.002±0.01%. Відхилення між зливками по марганцю склало ±0.045%, кремнію ±0.03%. Обробка металу аргоном зменшила тривалість розливання сталі.

Механічні характеристики сталі відповідали вимогам ДСТУ.

Спосіб продування металу в ковші аргоном через шиберний затвор дуже простий в обігу і доступний кожному заводу, цеху, не вимагає капітальних вкладень. І особливо прийнятний у сталеплавильних мартенівських цехах, де важко спорудження стаціонарних установок із позапічної обробки через відсутність місця на їх розміщення. За якістю рафінування рідкого металу аргоном займає проміжне положення між обробкою металу через занурювальну фурму та обробкою через пористі пробки в днищі ковша. Загалом дозволяє отримати хороші результати щодо зниження вмісту неметалевих включень та газів у сталі. Дозволяє повністю усунути хімічну неоднорідність та температурний перепад за обсягом ковша.

1.9 Дослідження процесу продування аргоном сталі в ковші

Завдання отримання високоякісної сталі або сплаву, придатних для виготовлення відповідальних виробів, зводиться до розробки такої технології виплавки, кисління та заключного етапу обробки, які можуть забезпечити мінімальний залишковий вміст шкідливих домішок, газів та неметалевих включень.

Для зазначеної мети у вітчизняній та зарубіжній металургійній практиці з успіхом користуються вакуумуванням сталі в ковші з одночасною продуванням аргоном або іншими інертними газами з метою зниження концентрації розчинених газів (водню та азоту) та зменшення вмісту кисню та неметалічних включень.

Найбільш простим способом позапічної обробки сталі з метою поліпшення її якості є продування рідкого металу в ковші інертним газом. Бульбашки газу, що спливають при продуванні через весь шар металу, сприяють його рафінування. При збільшенні інтенсивності масопереносу в ковші відбувається

вирівнювання складу та температури обсягом металу. Інтенсивне перемішування прискорює дозування неметалічних включень до поверхні метал - шлак та видалення їх зі сталі. Цьому ж сприяє видалення неметалевих включень бульбашками газу, що продується внаслідок їх адсорбції на поверхні цих бульбашок. Бо парціальний тиск водню в бульбашках інертного газу дорівнює нулю, вони стосовно водню є в певному сенсі вакуумними порожнинами і екстрагують його з металу. Продування інертним газом у ковші широко застосовують і в поєднанні з іншими способами позапічної обробки (вакуумом, порошками) для інтенсифікації масо-і теплообмінник процесів. Найчастіше для продування в ковші використовують аргон, який отримують на станціях кисневих металургійних заводів при розділіні повітря з метою виробництва кисню. Як відомо, у повітрі міститься близько 1 % аргону, тому при виробництві необхідного для сталеплавильних процесів кисню, вміст якого в повітрі приблизно 21 %, принагідно виходить значна досить дешевого аргону. Це по суті визначило можливість широкого використання аргону в сталеплавильному виробництві, зокрема для позапічної обробки сталі.

Іноді для продування металу в ковші застосовують азот. Це можливо, коли сталь не містить нітридоутворюючих елементів, що мають високу хімічну спорідненість до азоту (цирконію, титану, ванадію). Такі елементи, якщо не зв'язують азот у нітриди при температурах позапічної обробки внаслідок малих концентрацій, то знижують його активність, викликаючи підвищення розчинності.

На якість сталі впливає кількість розчинених у ній газів. Особливо великі дефекти сталі викликаються розчиненим у сталі воднем.

Механізм видалення водню з рідкої сталі при продуванні її аргоном укладається в тому, що розчинений водень дифундує в готові газові бульбашки аргону, в які парціальний тиск інших газів мізерно мало. На поверхні міхурков аргону відбувається рекомбінація водню в молекулярний стан В результаті цього процесу склад газу в бульбашці поступово наближається до рівноважного по відношенню до газу, розчиненого в сталі.

Швидкість видалення водню зі сталі при продуванні залежить від

початкової концентрації водню в сталі, витрати інертного газу, розміру газових пузирів, висоти їх підйому, температури та об'єму металу, що продується.

Видалення азоту з рідкого металу під час продування його інертними газами пов'язане з хімічним складом оброблюваної сталі. При продуванні вуглецевого металу окисом вуглецю або аргоном спостерігалося видалення азоту.

Леговані та високолеговані сталі продуваються в ковші аргоном після остаточного розкислення. Кисень у такій стадії практично повністю перебуває у зв'язаному стані у вигляді включень.

При продуванні аргоном розкисленої сталі вміст у ній кисню знижується. Неметалічні години, що утворюються в результаті розкислення в рідкій сталі можуть за сприятливих умов під впливом поверхневого натягу та взаємного тяжіння укрупняться.

Головними причинами, що сприяють частішій зустрічі зважених у металі включень, їх укрупненню та спливу в шлак, є енергійне перемішування та циркуляція металу.

При продуванні металу в печі або ковші інертними газами під шаром шлаку, як це відбувається на практиці, велике значення для успішного видалення неметалевих включень зі сталі має поглинання їх шлаковим покривом.

При продуванні рідкого металу інертним газом спостерігається наступна картина: по-перше, створюються сприятливі умови для протікання процесів, що формують великі частки. По-друге, флотуюча дія аргону внаслідок високої адгезії включень до газових бульбашок сприяє видаленню з металу дрібніших за розміром неметалевих включень. По-третє, енергійне перемішування металу в ковші під час продування інертними газами сприяє більш частому контакту включень зі шлаком та асиміляції їх шлаком.

Для здійснення процесу продування сталі в ковші інертним газом існує багато різних способів і технологій.

Найбільшого поширення на металургійних підприємствах набули перемішування сталі за допомогою таких продувних пристроїв, як занурючі фурми, пористі пробки, що встановлюються в днище ковша, і пристосування, що

подають газ через розливний канал ковшового затвора. Зазначені способи інжекції газу в розплав схематично показані на рисунку 1.3, а), б), в). Будь-який з цих методів введення рафінуючого газу має свої переваги та недоліки, що виявляються різною мірою залежно від конкретних умов їх застосування: місткості сталерозливного ковша, конструкції пристроїв для дозованого випуску металу, якими обладнаний ківш, і т.д.

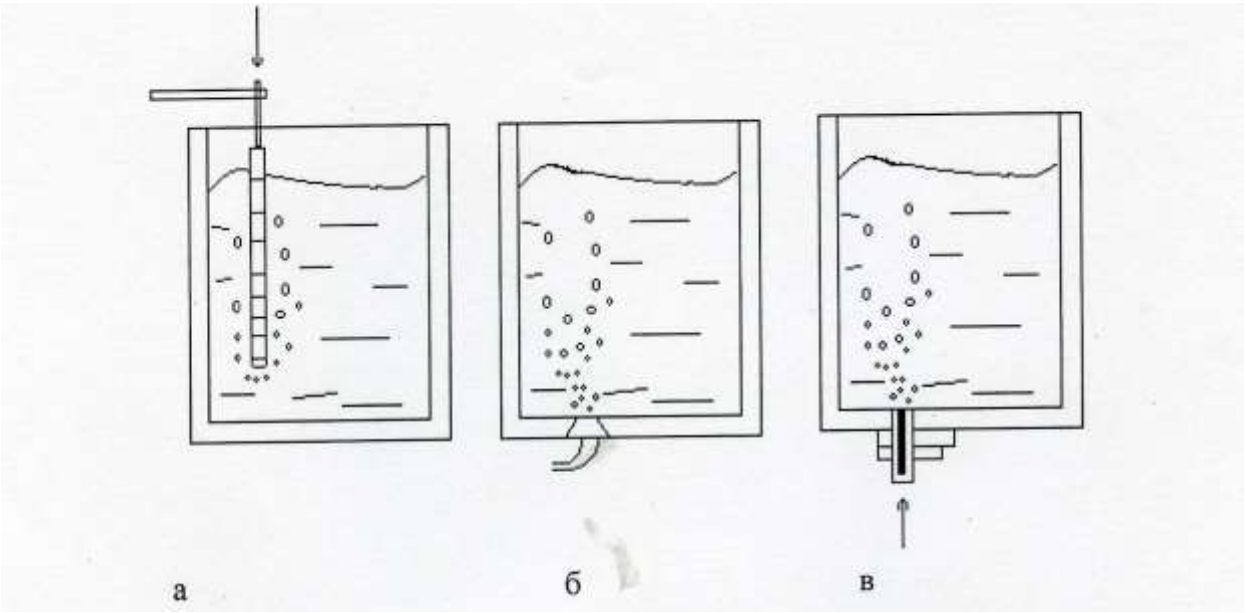


Рисунок 1.3 – Способи вдування газу в рідку сталь

Найбільш простим і надійним способом обробки металу інертним газом є продування з застосуванням "хибного стопора", що є сталевою трубою, футеровану зовні вогнетривкими котушками. Для посилення ефекту перемішування і часткового видалення спливаючих бульбашок газу від стопора інколи користуються стопори з вогнетривкою пробкою, насадженою на вихідну частину труби і має осі стопора отвори для виходу газу, розташовані радіально або перпендикулярно. Стопор опускають у метал зверху рівня на 200 -300 мм вище днища ковша. Простота використання несправжнього стопора для продування металу полягає в тому, що не потрібно вводити жодні конструктивні зміни в пристрій футерування ковша. При цьому можна уникнути небезпеки розмивання футерування металом.

Однак помилкові стопори для продування мають і недоліки, оскільки є пристрої одноразового використання. Ще суттєвіше те, що під час продування

найбільш інтенсивний рух металу і газу відбувається вздовж стопора (навіть при використанні пробок, що направляють газ радіально або горизонтальне). Внаслідок цього вогнетривка футерування стопора швидко розмивається, і частки її надходять у метал, негативно впливаючи на можливість його очищення від неметалевих включень. Тому використання несправжніх стопорів для продування металу інертним газом не знайшло широкого застосування.

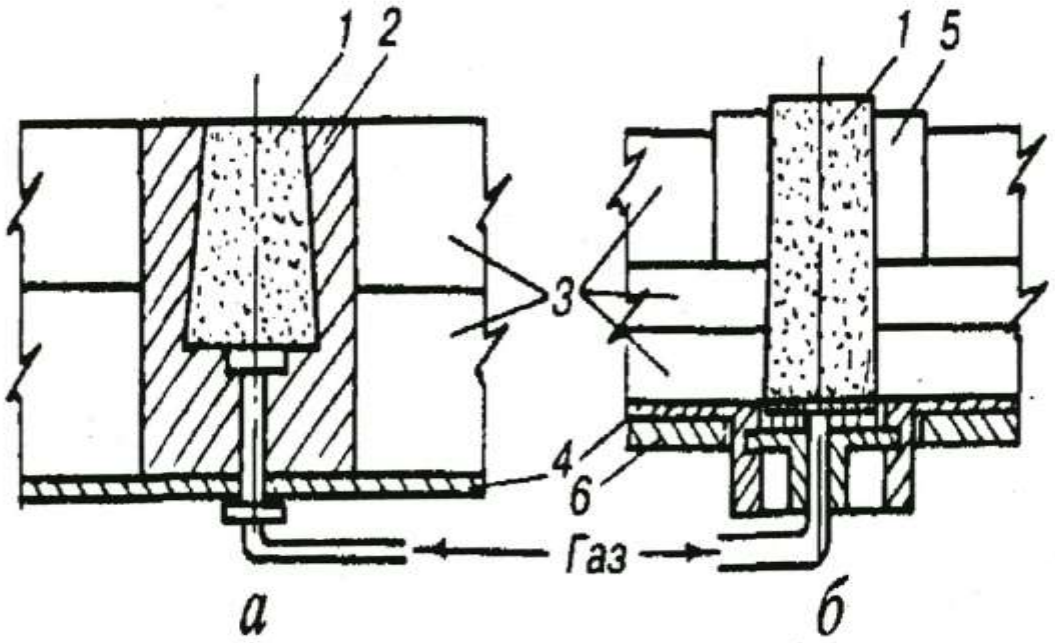
Технологія продування через фурми, що занурюються, і конструкція фурм постійно вдосконалюються. Так, на Орсько-Халілівському металургійному комбінаті (ОХМК) розробили та використовують фурму не з циліндричними, а з щілинними соплами, що розташовані перпендикулярно до осі труби. Для інтенсифікації процесу в стінках щілинних сопел зроблено проточки, що викликають виникнення при продуванні акустичного поля. Продування ведуть при зануренні фурми на 2,2 -2,4 м (> 70% висоти рідкого металу) та тиск аргону перед фурмою 0,4 - 0,5 МПа. У порівнянні з продувкою через фурму з циліндричним соплом при тиску перед фурмою 0,1 - 0,2 МПа змінюється характер перемішування металу в ковші: інтенсивність бурління в районі фурми зменшується, спостерігається інтенсивне перемішування розплаву дзеркалом ковша. Продувку виробляють протягом > 3 хв, що забезпечує рівномірний розподіл хімічних елементів у металі у всьому обсязі ковша.

Широке застосування для продування металу в ковші отримали вогнетривкі пористі пробки. Вони виготовляються із крупнозернистого матеріалу під низьким тиском пресування та піддаються спеціальному відпалу. Висока газопроникність і задовільні властивості мають пробки зі спеченого мулліта (70 % Al_2O_3) і магнезиту (95 % MgO); стійкість пробок до 15-20 плавок.

Пориста пробка у формі зрізаного конуса монтується в днище ковша зсередини або зовні (рис. 1.4). При заміні пробки простішим є монтаж зовні, але при цьому способі дещо ускладнюється пристрій для посилення днища та жорсткості установки.

Порівняно з хибними стопорами пористі пробки мають ту перевагу, що при проникненні через них газу він надходить у рідкий метал у вигляді дрібних пухирів. Це забезпечує більшу поверхню контакту метал - інертний газ і,

відповідно, більшу швидкість переходу компонентів між цими фазами. Інтенсивність масообмінних процесів збільшується із застосуванням не однієї пористої пробки в центрі днища, а кількох (зазвичай 3-4), розташованих на середині радіусу днища ковша.

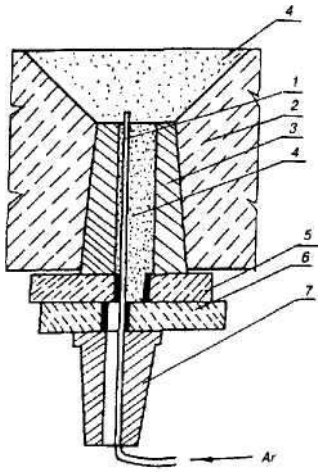


а – при монтажі зсередини; б – при монтажі зовні;
1 – вставка; 2 - набивання; 3 - футерування ковша; 4 – металеве днище;
5- гніздова цегла; 6 - фланець посилення днища
Рисунок 1.4 – Пориста пробка в днищі ковша

Застосовується також спосіб продування інертним газом через пористі шви в днище ковша. На деяких вітчизняних заводах продування ведуть через пористі шви, розташовані у вигляді кільця в кладці днища із середнім радіусом, рівним 0,7 радіуса ковша. Кільце утворене покладеними в шарі футерування сифонною цеглою. Газ, виходячи із стиків сифонної проводки, проходить через пористі газопроникні шви кладки днища і у вигляді кільцевого поясу бульбашок пронизує метал. Основна маса пор у швах має розмір 0,3 -1 мм, що дозволяє отримувати бульбашки газу мінімальних розмірів, що збільшують поверхню

контакту метал - шлак.

На вітчизняних заводах також застосовують продування інертним газом через шиберний затвор. Цей спосіб відрізняється простотою пристрою та відсутністю необхідності спеціальних переробок у футеруванні ковша. При установці розливної склянки в гніздо ковша в нього вводять трубку для продування аргоном (рис. 1.5) і засипають склянку і верхню приймальну частину гнізда ковша магнезитової крихтою. З початку випуску сталі в ківш починають продування аргоном, який у перший же момент пробиває хід у підсипці, створюючи своєрідне «сопло». Через це сопло і ведеться продування. Після закінчення продування кінцеву частину трубки, хитаючи, виймають зі склянки і затвора, і ківш з металом готовий до розливання. Під час відкриття шиберного затвора підсипка висипається, звільняючи прохід для сталі. Якщо підсипка сама не висипається, її пропалюють киснем.



1 – трубка; 2 – гніздо ковша; 3 – склянка; 4 - підсипання; 5 – верхня плита затвора; 6-нижня плита затвора; 7 – колектор

Рисунок 1.5 – Пристрій для продування рідкої сталі в ковші інертним газом

Продування аргоном через трубку, встановлену в шиберному затворі, має перевагу в порівнянні з іншими способами продування, оскільки при однаковій витраті газу вона забезпечує велику потужність перемішування внаслідок більшої кінетичної енергії газового струменя, що надходить в рідкий метал. Це пов'язано з тим, що з підведенні через трубку немає таких великих втрат напору,

як із підведенні через пористі пробки. При продуванні через стопор ці втрати також невеликі, але кінетична енергія газу втрачається внаслідок те, що рух його спрямовано вниз, тобто. проти подальшого потім випливання. У порівнянні з продуванням через помилковий стопор продування через шиберний затвор має і ту перевагу, що інтенсивний рух над місцем надходження газу в метал не викликає розмивання вогнетривких матеріалів (футерування стопора).

2 РОЗРАХУНОК МАТЕРІАЛЬНОГО БАЛАНСУ ПЛАВКИ СТАЛІ МАРКИ 09Г2С У ДВОХВАННОМУ СТАЛЕПЛАВИЛЬНОМУ АГРЕГАТІ

Вихідні дані. Піч двохванна 2*250 т.

Склад вихідних матеріалів приймаємо із заводських даних згідно з ДСТУ затверджених технічних умов заводу. Сталь марки 09Г2С для зварювальних конструкцій. Металева частина шихти: рідкого чавуну – 55%, скрапу – 45%.

Таблиця 2.1 - Хімічний склад металевої частини шихти сталі перед розкисленням та готової сталі 09Г2С, %

Матеріали	C	Si	Mn	P	S
Чавун	4,3	0,8	0,3	0,1	0,03
Скрап	0,25	0,3	0,4	0,04	0,04
Сталь перед розкисленням	0,04	-	0,16	0,020	0,025
Готова сталь	н.б. 0,12	0,17-0,37	1,4-1,8	н.б. 0,035	н.б. 0,040

Таблиця 2.2 - Хімічний склад неметалічних матеріалів, %

Матеріали	SiO_2	CaO	$A1_2O_3$	MgO	Fe_20_3	Cr_20_3	CO_2	H2O
Вапно	2,00	86,00	2,00	3,00	-	-	6,00	1,00
Доломіт	3,00	53,00	2,60	36,00	2,00	-	3,40	-
Періклазохроміт	4,50	1,50	4,00	66,50	12,70	10,50	0,30	-

Розрахунок 1-го періоду плавки до розкислення

Розрахунок ведемо на 100 кгметалошихти. Визначаємо середній склад металошихти.

Таблиця 2.3 - Хімічний склад металошихти, %

Матеріали	C	Si	Mn	P	S
Чавун (55%)	0,55 * 4,3 = 2,365	0,44	0,165	0,055	0,017
Скрап (45%)	0,45 * 0,25 = 0,113	0,135	0,180	0,018	0,018
Середній склад	2,478	0,575	0,345	0,073	0,035

Визначаємо, скільки має видалитись домішок з ванни на100 кг металу за період плавки до розкислення, кг.

Вихід сталі приймаємо рівним 0,9. Тоді:

C 2,478 - 0,04 * 0,9 = 2,442

Si 0,575

Mn	0,345 - 0,16 * 0,9 = 0,201
P	0,073 - 0,02 * 0,9 = 0,055
S	0,035 - 0,025 * 0,9 = 0,013
Fe (у дим)	1,100
ВСЬОГО	4,386

Тут втрати заліза випаровуванням при продуванні ванни технічно чистим киснем приймаємо 1,1%.

Сірка вигорає (окислюється) до SO_2 на 10%.

0,035·0,1 =0,004 кг сірки.

Визначаємо витрату кисню на окислення цих домішок, кг:

C	CO_2	2,442*34/12 = 6,919
Si ----------	SiO_2	0,575*32/28 = 0,657
Mn----------	MnO	0,201*16/55 = 0,058
P	P_2O_5	0,055*80/62 = 0,071
S -	SO2	0,004 * (2 * 16) / 32 = 0,004
Fe----------	Fe_2O_3(вдим)	1,1*48/112 = 0,471
ВСЬОГО --		8,180

Враховуємо, що CO, що виділяється з ванни, окислюється в печі до CO_2.

Визначаємо масу оксидів, що утворилися, кг:

CO_2	2,442*44/12 = 8,954
SiO_2	0,575*60/28 = 1,232
MnO	0,201*71/55 = 0,259
P_2O_5	0,055*142/62 = 0,126
SO_2	0,004*64/32 = 0,008
Fe_2O_3(вдим)	1,1*160/112 = 1,571
ВСЬОГО	12,150

$$FeS + CaO = CaS + FeO$$

0,013 - 0,004 =0,009 кг

При цьому звільняється кисню, кг: 0,009*0,5 = 0,005

Витрата кисню становить, кг: 8,18 - 0,005 = 8,175

Визначаємо витрату вапна

Необхідну кількість вапна визначаємо виходячи із співвідношення:

$$Q_ш = CaO/SiO_2$$

Приймаємо основність – 2,6 (середня основність 2,4...2,8).

Для формування шлаку приймаємо:

Витрата (знос) футерування в практичних умовах становить:

- доломіту 1,5.. .2,0%

- периклазохроміту 0,07...0,20% від маси металошихти.

Приймаємо витрату доломіту рівним 1,7 кг, периклазохроміту -0,1 кг на 100 кг металошихти.

Витрата вапна позначаємо через X .

Кількість CaO, що надходить у шлак із матеріалів складе, кг:

футерування:

-доломить 1,7/100*53,0 = 0,901

-периклазохроміт 0,1/100*1,5 = 0,001

вапно X/100 * 86 = 0,86 * X

ВСЬОГО 0,902 + 0,86 * X

Кількість SiO_2, що надходить у шлак із матеріалів, кг:

металева шихта 1,232

футерування:

доломит 1,7/100*3,0 = 0,051

периклазохроміт 0,1/100*4,5 = 0,005

вапно X/100 * 2,0 = 0,02 * X

ВСЬОГО 1,288 + 0,02 * X

Замість CaO та SiO_2 підставляємо їх значення та визначаємо витрату вапна:

0,902 + 0,86 X / 1,288 + 0,02 X = 2,6

X =3,028 кг

Визначаємо склад кінцевого шлаку

Таблиця 2.4 - Склад кінцевого шлаку, кг

Оксиди	Матеріали				Разом
	Металошихта	Вапно	Доломіт	Періклазохроміт	
SiO_2	1,232	0,060	0,051	0,005	1,348
CaO	-	2,604	0,901	0,001	3,506
MgO	-	0,091	0,612	0,067	0,770
$A1_2O_3$	-	0,060	0,044	0,004	0,108
S	0,009	-	-	-	0,009
MnO	0,259	-	-	-	0,259
P_2O_5	0,126	-	-	-	0,126
Fe_2O_3	-	-	0,034	0,013	0,047
Cr_2O_3	-	-	-	0,011	0,011
РАЗОМ	1,626	2,815	1,642	0,101	6,184

Крім того, вапна міститься, кг:

CO_2 3,028/100*6,0 = 0,182

H_2O 3,028/100*1,0 = 0,030

В обпаленому доломіті, кг:

CO_2 1,7/100*3,4 = 0,058

У периклазохроміті, кг:

CO_2 0,1/100*0,3 = 0,0003

Маса шлаку без оксидів заліза складає: 6,184 – 0,047 =6,137 кг.

Приймаємо вміст оксидів заліза у шлаку:

FeO - 16%, Fe_2O_3 - 6%; тоді маса шлаку без оксидів заліза (FeO і Fe_2O_3) становить 100 - 16 - 6 = 78,0%.

Маса шлаку дорівнює, кг (на 100 кг металу): 6,137/78*100 = 7,868

Таблиця 2.5 – Хімічний склад кінцевого шлаку, %

SiO_2	CaO	MgO	$A1_2O_3$	S	MnO	P_2O_5	Cr_2O_3	FeO	Fe_2O_3	РАЗОМ
17,13	44,56	9,79	1,38	0,11	3,29	1,60	0,14	16,00	6,00	100,00

Приклад розрахунку:

(% SiO_2) = 1,348/7,868 * 100 = 17,13 (% CaO) = 3,506/7,868 * 100 = 44,56

Фактична основність шлаку: (% CaO) / (% SiO_2) = 44,56/17,13 = 2,601, тобто відповідає заданій (допускається відхилення +/- 0,05)

Маса оксидів заліза у шлаку складе: 7,868 – 6,137 =1,731 кг, у тому числі

FeO 7,868/100*16 =1,259 кг

Fe_2O_3 1,731 - 1,259 =Вага: 0,472 кг

Приймаємо, що 90% внесеного футеруванням Fe_2O_3 відновлюється до заліза, а 10% - до FeO.

Відновлення Fe_2O_3 до заліза дає, кг:

-кисню 0,047*0,9*48/160 = 0,013

-заліза 0,047 * 0,9 - 0,013 = 0,029

Відновлення Fe_2O_3 до FeO дає, кг:

-кисню 0,047*0,1*16/160 = 0,0005

-FeO 0,047 * 0,1 - 0,0005 = 0,004

Ця кількість FeO надходить у шлак.

В результаті окислення заліза утворюється, кг:

FeO 1,259 - 0,004 = 1,255

Fe_2O_3 0,472

РАЗОМ 1,727

Окислюється залізо, кг:

1,255*56/72 + 0,472*112/160 = 1,306

Вихід сталі дорівнює, кг:

100 + 0,029 - 4,386 - 1,306 - 5,000 = 89,337,

де 5,000 – втрати заліза як корольків, заплутаних у шлаку.

Потрібно кисню на окислення домішок і заліза, кг: 8,18 + (1,727 - 1,306) - (0,013 + 0,0005) = 8,588 Цей кисень надходить з фурм і атмосфери печі.

CO_2 8,954 + 0,182 + 0,058 + 0,0003 = 9,194

H_2O 0,030

SO_2 0,008

ВСЬОГО 9,232

Таблиця 2.6 - Матеріальний баланс плавки до розкислення

Надійшло	кг	Отримано	кг
Чавуна	55,000	Сталі	89,337
Скрапа	45,000	Шлаку	7,868
Вапна	3,028	Корольків	5,000
Доломіту	1,700	Газів	9,232
Періклазохроміту	0,100	Fe_2O_3 (у дим)	1,571
Кисню	8,588		
ВСЬОГО	113,416		113,008

Нев'язка = (113,416 - 113,008) / 113,416 * 100% = 0,36%

(Припустимо до 0,4%)

Розкислення сталі

Спокійна низьколегована сталь повністю розкислюється в ковші. Враховуючи низький чад кремнію з силікомарганцю при введенні його в ківш для сталі марки 09Г2, рекомендується встановлювати його витрати з розрахунку введення кремнію в метал 0,3 - 0,35%. При цьому недостатню кількість марганцю коригувати феромарганцем. Порядок введення розкислювачів: феромарганець, силікомарганець.

Таблиця 2.7 - Хімічний склад розкислювача та легуючого матеріалу

Найменування	Марка	Хімічний склад, %					
		Si	Mn	C	P	S	Fe
Ферромарганець	СМн20А	1	75	7	0,45	0,03	16,52
Силікомарганець	ФМн75	24	65	1	0,25	0,03	9,72

Розрахунок необхідної кількості розкислювача

Середньозаданий вміст кремнію в готовій сталі:

(% Si)пор. = (0,17 + 0,37) / 2 = 0,27%

Необхідно ввести розкислювач для приведення вмісту елементів сталі до заданого; розрахунок провадимо за формулою:

$$M_{раск} = \Delta(\%м)*Ma_{мет}/B* 100/(100 – a),$$

де $M_{раск}$ - кількість розкислювача, що присаджується, кг;

Δ(%м) – бракує елемента до середньозаданого вмісту готової сталі, %

$Ма_{мет}$ – кількість рідкого металу наприкінці плавки, кг;

а - чад елемента розкислювача в ковші, %;

В – вміст елемента у розкислювачі, %.

Ступінь чаду елементів, що містяться у застосовуваних феросплавах:

- з феромарганцю: вуглецю – 18%, кремнію – 70%, марганцю – 25%;
- із силікомарганцю: вуглецю – 15%, кремнію – 6%, марганцю – 15%.

Витрата силікомарганцю (розрахунок ведеться за необхідною кількістю кремнію):

$$M_{Si\text{-}Mn} = 0,27 * 89,337 / 24 * 100 / (100 - 6) = 1,07 \text{ кг}$$

Вноситься марганцю в сталь із силікомарганцю:

$Mn_{Si\text{-}Mn}$ = 1,07 * 65/100 * (100 - 15) / 100 =Вага: 0,591 кг або 0,591/89,337*100 = 0,66%

Середньозаданий вміст марганцю в готовій сталі:

$$(\%\ Mn)_{\text{порівн.}} = (1,4 + 1,8)\ 72 = 1,6\%$$

Бракує марганцю до середньозаданого в готовій сталі з урахуванням його переходу з силікомарганцю:

Марганцю (% Mn) = $(\%\ Mn)_{\text{порівн.}}$ - $(\%\ Mn)_к$ – $Mn_{Si\text{-}Mn}$ = 1,6 - 0,16 - 0,66 = 0,78%

Цей недолік марганцю компенсується введенням у сталь феромарганцю:

$$M_{Fe\text{-}Mn} = 0,78 * 89,337 / 75 * 100 / (100 - 25) = 1,24 \text{ кг}$$

Кількість елементів, внесених розкислювачами, представлено в таблиці 2.8. Примітка: приймаємо, що фосфор, сірка та залізо з розкислювачів повністю переходять у метал.

Таблиця 2.8 - Вноситься до металу розкислювачами

Елемент	Вноситься Fe-Mn	Вноситься Si-Mn	Мраск., кг
C	1,24 * 7/100 * (100-18) 7100 =	1,07 * 1/100 * (100-15) / 100 = 0,009	0,08
Si	1,24 * 1/100 * (100-70) / 100 = = 0,0037	1,07 * 24 / 100 * (100-6) / 100 = 0,2414	0,2451
Mn	1,24 * 75/100 * (1 00-25) / 100 = = 0,6975	1,07 * 65/100 * (100-15) / 100 = = 0,5912	1,2887
P	1,24 * 0,45 / 100 = 0,0056	1,07 * 0,25 / 100 = 0,0027	0,0083
S	1,24 * 0,03 / 100 = 0,0004	1,07 * 0,03 / 100 = 0,0003	0,0007
Fe	1,24 * 16,52 / 100 = 0,2048	1,07 * 9,72 / 100 = 0,104	0,3088
РАЗОМ	0,983	0,9486	1,9316

Вихід рідкої сталі в ковші дорівнює, кг:

Мст = 89,337 + 1,9316 = 91,2686

Перевірка хімічного складу готової сталі:

$[\% E]_{ст} = (Ma_{ел} + M_{раск.ел.}) / M_{ст} * 100\%$

$(\% C)_{ст} = (0,04 + 0,08) / 91,2686 * 100 = 0,12\%$

$(\% Si)_{ст} = 0,2451/91,2686 * 100 = 0,27\%$

$(\% Mn)_{ст} = (0,16 + 1,2887) / 91,2686 * 100 = 1,59\%$

$(\% P)_{ст} = (0,02 + 0,0083) / 91,2686 * 100 = 0,031\%$

$(\% S)_{ст} = (0,025 + 0,0007) / 91,2686 * 100 = 0,028\%,$

що відповідає хімічному складу сталі марки 09Г2С. [5]

3 ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ ПРОДУВКИ СТАЛІ В КОВШІ ТА В ПЕЧІ

Після проведення перших плавок та з'ясування принципової можливості продування металу аргоном через шиберний затвор на першій печі було проведено ряд експериментальних плавок, на яких фіксувався тиск і витрата аргону, а також час обробки металу в ковші.

Необхідним завданням є створення таких параметрів продування, які б забезпечували хороше перемішування металу в ковші і, як наслідок, усереднення металу в обсязі ковша за хімічним складом і температурою, видалення якомога більшої кількості газів і неметалічних включень з рідкої сталі.

Було досліджено гідродинаміку та виконано математичне моделювання процесу продування металу аргоном для двох можливих режимів: бульбашкового (газова бульбашка зростає до певного розміру і відривається від фурми) та струменевого (газ, що витікає з фурми, утворює каверну, що впроваджується в рідке середовище). З урахуванням двофазної зони визначили поле швидкостей у всіх зонах циркуляції, застійні зони у всіх спектрах технологічних параметрів обробки металу у ковші.

У процесі відпрацювання технології обробки сталі аргоном через шиберний затвор під час випуску плавки були випробувані різні параметри продувки.

Тиск аргону.

При продуванні металу в ковші через шиберний пристрій тиску аргону в аргонопроводі є постійною величиною, що дорівнює 8 кгс/см^2.

Для визначення оптимального тиску аргону на виході з продувної трубки, достатнього для підтримки хорошого перемішування металу в ковші протягом усього часу продування, на першій печі було проведено ряд експериментальних плавок.

Дані наведені у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 - Частота розподілу тиску аргону

Тиск аргону, кгс/см^2	3,0	3,5	4,0	5,0	2-3	2-3,5	3-4	3-5	Усього
Кількість плавок, шт	11	12	9	2	3	2	2	1	42
%	26,25	28,6	21,3	4,25	7,15	4,75	4,75	2,35	100

Тиск продуваного газу змінювали досить широкому діапазоні - від 2.0 до 5.0 кгс/см^2, причому у більшості випадків тиск аргону на вході в ківш при продуванні становило 3.0 - 4.0 кгс/см^2 (майже 80% плавок).

Візуально було зазначено, що перемішуванні металу в ківші при тиску 2 кгс/см^2 в цілому є незадовільним і достатнім тільки в перші хвилини продування, до дачі розкислювачів в ківш, вже при половині ковша не забезпечує хорошого перемішування об'єму металу. До того ж при підтримці тиску 2 кгс/см^2 протягом усього часу продування відбувається замелювання вихідного отвору трубки продувного пристрою.

Хороше перемішування розплаву спостерігається при тиску 3 кгс/см^2 і залишається задовільним до кінця продування.

Також зазначено, що при тиску аргону 5 кгс/см^2 відбувається вирування металу з викидами, особливо під кінець наповнення ковша, у цьому разі тиск аргону доводилося знижувати значення 3-4 кгс/см^2.

Таким чином, на підставі вищенаведених даних і спостережень можна зробити висновок, що найбільш оптимальним є в початковий момент сходу металу необхідно встановлювати тиск на виході з трубки продувки рівним 2 кгс/см^2, після дачі розкислювачів тиск збільшувати до 3-4 кгс/см^2 і підтримувати його до кінця сходу металу, до кінця сходу металу тиск аргону встановлювати не менше 4 кгс/см^2, щоб уникнути замітування вихідного отвору трубки продувного пристрою.

Витрата аргону на продування плавки.

Аналогічно проведено низку експериментальних плавок, обробку в ковші яких вели з різною інтенсивністю інжекції газу для визначення оптимального варіанту.

Витрата аргону на продування плавки фіксувався за витратоміром,

встановленому в пульті управління режимом подачі аргону на першій печі та в кисневому цеху.

Результати витрати аргону наведено у таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 - Витрата аргону

Витрата аргону, $м^3$/год	До 30,0	31-40	41-50	51-60	61-70	71-80	Усього плавок
Кількість плавок, прим.	1	3	12	18	1	6	41
%	2,4	7,3	29,2	44,0	2,4	14,7	100

З таблиці видно, що 73% плавок проведено з інтенсивністю продування рівною 41-60 $м^3$/год. Слід зазначити, що при продуванні розплаву за допомогою продувного пристрою через шиберний затвор, більшої витрати аргону, ніж 80 $м^3$/год, отримати не вдалося навіть при повному тиску 5 $кгс/см^2$.

На експериментальних плавках чіткої залежності між тиском та витратою аргону не було встановлено. Тому змінювати і регулювати витрату аргону у вигляді зміни тиску аргону неможливо.

Витрата газу, що продувається, залежав в основному від тривалості продування металу в ковші.

Тривалість продування.

Час продування металу аргоном у ковші залежить від тривалості випуску плавки з печі, оскільки при появі пічного шлаку продування сталі закінчується. Тривалість випуску плавки визначається переважно станом сталевипускного отвору. У середньому час випуску плавки становить 7-8 хвилин, під час випуску металу через новий сталевипускний отвір час випуску збільшується до 15 - 17 хвилин.

Таким чином, тривалість продування металу аргоном коливається від 7 до 15 хвилин.

Експериментальні дані щодо часу продування металу аргоном у ковші наведено в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 - Частота за часом продування металу аргоном

Час, хв	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	Усього
Кількість плавок	5	12	12	11	2	3	-	1	2	1	49
%	10,2	24,5	24,5	22,5	4,1	6,1	-	2,0	4,0	2,0	100

З наведених даних випливає, що за часом продування 71.5% плавок продували від 6 до 8 хвилин. Як показали проведені дослідження, така тривалість продування металу виявилася цілком достатньою для рафінування його від небажаних неметалевих включень та газів [33].

Для запобігання окисленню та втрат металу під час продування на дно сталерозливного ковша дають самоплавку шлакоутворювальну суміш. Необхідною є розробка такого складу сумішей, який крім захисту металу забезпечував би хороше поглинання неметалевих включень, що виносяться на поверхню ковша потоками металу, що рухається.

Для ефективного рафінування металу необхідні шлаки з певними фізико-хімічними властивостями, найважливіші з яких густина, температура плавлення, поверхневий натяг, в'язкість та електропровідність.

У процесі досліджень як шлакоутворювальні матеріали були випробувані висококремнистий боксит, каолін, зола кам'яного вугілля, відвальний шлак алюмотермічного виробництва. Вивчено вплив різних добавок на здатність рафінувати здатність шлаків.

У результаті Руставським металургійним комбінатом та ДонНДІчерметом були розроблені склади твердих шлакоутворюючих сумішей на основі відходів виробництва вторинного алюмінію та вулканічного шлаку. Встановлено, що за фізичними властивостями розроблені суміші задовольняють вимогам вони швидко розплавляються в ковші і ефективно поглинають неметалеві включення.

3.1 Вплив обробки металу аргоном в ковші на якість готової сталі

Для визначення ступеня дегазації металу в результаті обробки аргоном на ряді плавок проводився відбір проб металу для визначення вмісту газів O_2, H_2, N_2. Відбір проб здійснювали перед продуванням і відразу після продування металу.

Отримані дані зведено до таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 - Вміст газів сталі марки 09Г2

Технологія	Число плавок	Номер плавки	вміст газів,%		
			O_2	H_2	N_2
Без продування	4	3452	0.0220	0.00038	0.007
		3454	0.0218	0.00040	0.008
		3578	0.0218	0.00038	0.009
		3580	0.0216	0.00039	0.007
Продування	4	3452	0.0168	0.00028	0.007
		3454	0.0164	0.00020	0.007
		3578	0.0162	0.00020	0.008
		3580	0.0164	0.00023	0.008

Аналіз вмісту газів у металі дослідних та порівняльних плавок показав, що в результаті обробки рідкої сталі аргоном знижується кількість кисню, що пов'язано з флотуючим дією бульбашок аргону на неметалеві включення. Середній вміст кисню на продувних плавках становить 0.0164%, а непродувних - 0.0218%.

У металі, обробленому аргоном, знизився вміст водню до 0.00023%. На вміст азоту сталі обробка аргоном не справила помітного впливу, як видно з наведених даних, вміст азоту на тих і інших плавках сталі 09Г2 перебувати в межах 0.007-0.009%. Це, мабуть, з хімічним складом сталі 09Г2.

Видалення неметалевих включень.

На рисунку 3.1 наведена залежність, що характеризує зниження вмісту неметалевих включень в залежності від тривалості продування при різній витраті газу, що продується.

Таким чином, ступінь видалення неметалевих включень з розплаву знаходиться в прямопропорційній залежності від часу обробки металу в ковші.

Стабільність результатів обробки металу в ковші забезпечувалася за інтенсивності інжекції газу 1-1.3 $м^3$/хв незалежно від тривалості випуску. Це одна з умов розвитку масообмінних процесів.

Контроль сталі 09Г2 на вміст неметалевих включень показав, що оброблений метал за допомогою аргону виявився приблизно в 2 рази чистіше по оксидним включенням і 4 рази по сульфідним, порівняно з необробленим металом.

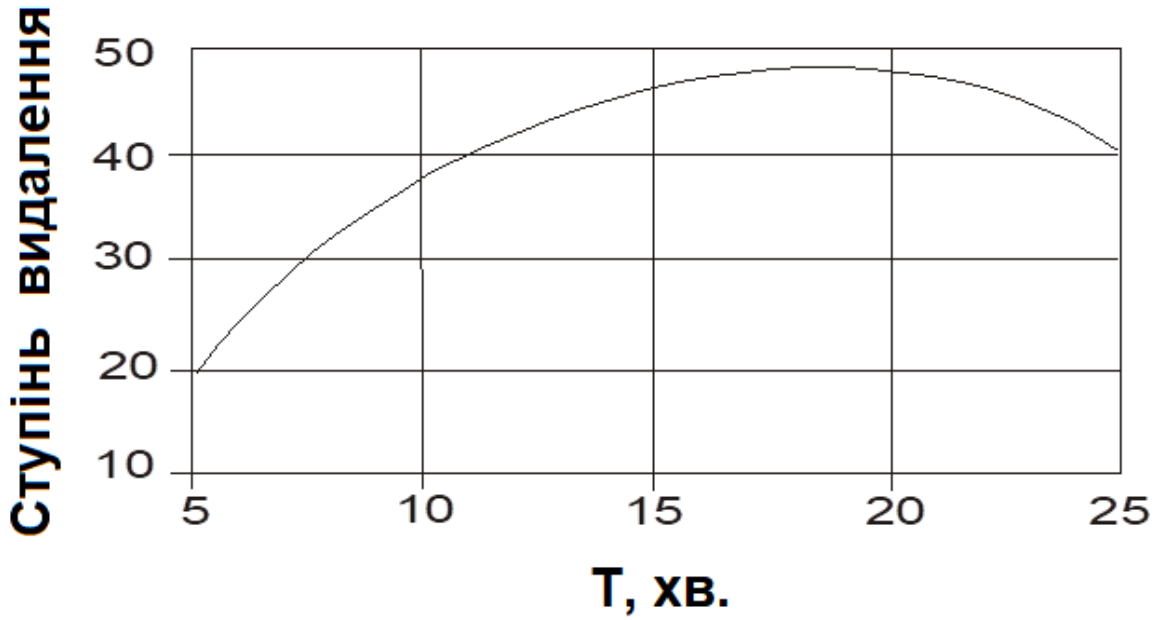


Рисунок 3.1 – Залежність ступеня видалення неметалевих включень сталі 09Г2 від тривалості випуску

Усунення хімічної неоднорідності обсягом ковша.

Продування аргоном забезпечує інтенсивне перемішування металу в обсязі ковша, при цьому покращується розчинення розкислювачів, що вводяться, і легуючих добавок, забезпечується усереднення хімічного складу.

Для оцінки впливу проведеної обробки рідкого металу аргоном в ковші на усунення перепаду хімічного складу сталі за обсягом ковша розглянемо приклад низьковуглецевої сталі типу 09Г2 виплавленої на двованному сталеплавильному агрегаті № 1 і обробленої аргоном при випуску плавки, відповідно до прийнятих вище технологічних параметрів.

З метою визначення усереднення хімічного складу металу відповідно до інструкції з розливання сталі на плавких сталі типу 09Г2 по ходу розливання відбираються проби вмісту марганцю і кремнію. При цьому визначається величина відхилення кожної відібраної. по ходу розливання проби по марганцю та кремнію від ковшової проби.

Результати аналізів наведено у таблицях 3.5 та 3.6.

Отримані дані щодо відхилення від ковшової проби по марганцю та кремнію обробленого металу зіставляються з відхиленнями проб необробленої сталі тієї ж марки від ковшової проби.

Таблиця 3.5 – Приватний розподіл марганцю в сталі типу 09Г2 в процесі розливання

Плавки	Відхилення від ковшової проби за Mn, %					Усього проб
	0±0.02	±0.03-0.04	±0.05-0.07	±0.08-0.09	±0.1	
Звичайні плавки, %	541 46,5	233 20	196 14,1	40 3,4	187 16,0	1170 100
Плавки з продувкою аргоном, %	427 59,2	157 21,8	80 11,5	18 2,5	39 5,0	721 100

Аналізуючи наведені дані можна дійти невтішного висновку, що відхилення від ковшової проби по марганцю на плавках з продувкою металу аргоном не більше 0±0.04 % становить 81% проб, а, по плавкам без продувки відхилення у цих межах - 66% проб, тобто на 15% більше.

Показовим є той факт, що відхилень у межах ±0.10% і більше від ковшової проби по марганцю на плавках з продувкою аргоном у 3 рази менше, ніж на звичайних плавках (5 та 16% проб відповідно).

Таблиця 3.6 – Приватний розподіл кремнію в сталі типу 09Г2 в процесі розливання

Плавки	Відхилення від ковшової проби Si, %					Усього проб
	0±0.02	±0.03-0.04	±0.05-0.07	±0.08-0.09	±0.1	
Звичайні плавки, %	136 41,2	92 27,8	44 13,5	9 3,0	48 14,5	329 100
Плавки з продувкою аргоном, %	245 58,2	113 27,4	39 9,0	7 1,6	16 3,8	420 100

Відхилення кремнію з межами 0+0.04 % становлять 85% і 79% проб з продуванням без продування металу аргоном відповідно, тобто. на 6% більше.

Як і у випадку з марганцем, по кремнію відхилень у межах ±0.10% і більше майже в 4 рази менше, ніж при звичайних плавках без продування аргоном - 14.5% проб плавок звичайних і 3.8% проб плавок з продувкою аргоном. Лише поодинокі зливки за деякими плавками мають відхилення >0.10%.

Впроваджена технологія обробки металу дозволила скоротити кількість окремих злитків сталі типу 09Г2, що переводяться в сталь "0" через невідповідність хімічного складу по марганцю та кремнію вимогам ДСТУ.

Таблиця 3.7 - Кількість злитків сталі типу 09Г2 переведених у сталь "0"

Період	Кількість злитків переведених у сталь «0» за хімічним аналізом, шт.	Тонн	%
2023 р. без продування	1056	15703	3.96
2024р. з продуванням Ar	417	5647	2.06

Як видно з таблиці 3.7, за 2023 рік за плавками без продування аргоном кількість злитків переведених у сталь "0" становить 3.96% від загальної кількості проконтрольованих, за 2024 рік за плавками з продуванням аргоном - 2.06% від загального числа. Усереднення хімічного складу за рахунок обробки металу аргоном дозволяє майже на 2% збільшити кількість придатних зливків.

Поряд з визначенням вмісту марганцю і кремнію проводився аналіз вмісту та інших хімічних елементів у пробах, що відбираються по ходу розливу.

Плавка №1263104 09Г2

Ківшева проба - C-0.12%; Mn-1.48%; Si-0.26; S-0.030%; P-0.019%

Таблиця 3.8 - Хіманаліз по ходу розливання

Елемент	Вміст, %								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Вуглець (С)	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11
Сірка (S)	0,030	0,030	0,030	0,032	0,030	0,030	0,030	0,030	0,032
Фосфор (Р)	0.017	0.017	0.017	0.018	0.017	0.017	0.020	0.020	0.017
Марганець	1.47	1.50	1.50	1.54	1.51	1.48	1.47	1.50	1.47
Кремній	0,25	0,26	0,25	0,25	0,26	0,25	0,26	0,24	0,24

Плавка №1263139 09Г2

Ківшева проба - C-0.15%; Mn-1.53%; Si-0,59; S-0.033%; P-0.027%

Таблиця 3.9 - Хіманаліз по ходу розливання

Елемент	Вміст, %								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Вуглець (С)	0,15	0,15	0,15	0,16	0,15	0,16	0,15	0,16	0,15
Сірка (S)	0,036	0,036	0,039	0,036	0,038	0,038	0,038	0,036	0,038
Фосфор (Р)	0.030	0,030	0,030	0,027	0,030	0,030	0,030	0,030	0,027
Марганець	1,56	1,56	1,56	1,56	1,56	1,58	1,59	1,57	1,57
Кремній	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58	0,56	0,56	0,58	0,58

Плавка №1263312 09Г2

Ківшова проба - C-0.08%; Mn-1.13%; Si-0,18; S-0.025%; P-0.016%

Таблиця 3.10 - Хіманаліз по ходу розливання

Елемент	Вміст, %								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Сірка (S)	0,025	0,025	0,025	0,024	0,024	0,026	0,025	0,024	0,024
Фосфор (P)	0,016	0,015	0,015	0,016	0,016	0,015	0,016	0,015	0,016
Алюміній	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Марганець	1,13	1,13	1,13	1,14	1,14	1,14	1,12	1,13	1,14
Кремній	0,18	0,18	0,19	0,18	0,18	0,16	0,18	0,17	0,18

Плавка №1263397 09Г2

Ківшова проба - C-0.10%; Mn-1.33%; Si-0,50; S-0.036%; P-0.027%

Таблиця 3.11 - Хіманаліз по ходу розливання

Елемент	Вміст, %								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Вуглець (C)	0,10	0,10	0,11	0,10	0,10	0,11	0,10	0,10	0,10
Сірка (S)	0,036	0,038	0,038	0,038	0,036	0,039	0,036	0,038	0,036
Фосфор (P)	0,030	0,028	0,029	0,027	0,028	0,028	0,027	0,028	0,027
Алюміній	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01

Плавка №172593 09Г2

Ківшева проба - C-0.07%; Mn-1.15%; Si-0,20; S-0.027%; P-0.017%

Таблиця 3.12 - Хіманаліз по ходу розливання

Елемент	Вміст, %								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Вуглець (C)	0,07	0,08	0,08	0,07	0,08	0,08	0,08	0,07	0,07
Сірка (S)	0,028	0,026	0,026	0,028	0,027	0,026	0,026	0,028	0,026
Фосфор (P)	0,018	0,018	0,017	0,018	0,017	0,017	0,019	0,018	0,018
Алюміній	0,006	0,007	0,007	0,007	0,006	0,006	0,007	0,007	0,007

Плавка №172593 09Г2

Ківшова проба - C-0.07%; Mn-1.15%; Si-0.20%; S-0.027%; P-0,017%.

Таблиця 3.13 - Хіманаліз по ходу розливання

Елемент	Вміст, %								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Вуглець (C)	0.07	0.08	0.08	0.07	0.08	0.08	0.08	0.07	0.07
Сірка (S)	0.028	0.026	0.026	0.028	0.027	0.026	0.026	0.028	0.026
Фосфор (P)	0.018	0.017	0.018	0.018	0.017	0.017	0.019	0.018	0.018
Алюміній	0.006	0.007	0.007	0.007	0.007	0.006	0.006	0.007	0.007

З аналізу даних видно, що розподіл вуглецю, сірки, фосфору і алюмінію в процесі розливання рівномірний, з невеликими відхиленнями в межах помилки, що допускається при проведенні хімічного аналізу.

Одним із факторів отримання комплексу високих службових властивостей сталі є строго регламентований вміст вуглецю в металі. Обмеження меж його коливання становить ±0.02% [42]. Як очевидно з наведених даних, відхилення вуглецю між аналізами становлять ±0.01%.

Розподіл сірки з відхиленням ±0.002 - 0.003%, відхилення фосфору становить ±0.002 0.003%. Алюміній у процесі розливання розподіляється рівномірно без відхилень і становить 0.01% у всіх зливках.

Для порівняння однорідності хімічного складу обробленої та необробленої сталі марки 09Г2 в обсязі ковша наводяться дані щодо відхилення між відбираються пробами в процесі розливання необробленої аргоном сталі

Таблиця 3.14 -Хіманаліз проб сталі 09Г2 по ходу розливання

Елемент	Вміст елементів, %								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Вуглець (С)	0.10	0.09	0.09	0.07	0.09	0.08	0.08	0.06	0.07
Сірка (S)	0.024	0.028	0.025	0.030	0.024	0.026	0.026	0.030	0.032
Фосфор (Р)	0.018	0.015	0.016	0.016	0.015	0.017	0.019	0.020	0.018

З наведених даних видно, що відхилення вуглецю між аналізами становить ±0.04%, перевищуючи допустиму межу відхилення; відхилення по сірці між аналізами знаходяться в межах ±0.008%, відхилення фосфору становлять ±0.004%.

На підставі наведених вище даних про хімічний склад проб металу, відібраних по ходу розливу, можна зробити висновок про те, що продуванням сталі в ковші аргонів через шиберний затвор можна повністю усунути хімічний перепад по всьому обсягу ковша.

Розподіл плавок сталі типу 09Г2 з продувкою аргоном, що мають зливки з відхиленням по хім. аналізу від ковшової проби за період з 1.01 по 23.06.2024 наведено в таблиці 3.15.

Таблиця 3.15 - Розподіл плавок

Плавки	Штук	%
Загальна кількість плавок	492	100
Кількість плавок без відхилення	401	81.7
Кількість плавок з відхиленнями по перших зливках	-	-
Кількість плавок з відхиленнями за останніми зливками по ходу розливу З одним зливком З двома зливками	- 60 7 24	 12.0 1.4 4.9

Усунення градієнта температур обсягом ковша.

Перевірка впливу продування металу аргоном під час випуску плавки на зниження температури проводилася шляхом вимірювання температури в печі перед випуском термопарою занурення і потім у ковші після продування металу аргоном. Для цієї мети краном вироблялося переміщення ковша з обробленим металом до ділянки виміру температури, після чого зверху пробивалася кірка шлаку в ковші і заводилася термопара, за допомогою якої вимірювали температуру.

Таблиця 3.16 – Результати виміру температури.

№ плавок	Температура металу на випуску, °С	Температура металу в ковші після продування, °С	Різниця, °С
1270071	1625	1620	-5
1270141	1615	1620	+5
1270163	1630	1630	0
1270305	1620	1620	0
1270325	1623	1620	-3
1270334	1620	1610	-10
1270338	1625	1625	-20
1270432	1620	1620	0
1270488	1615	1620	+5
1270445	1615	1620	+5
1270459	1625	1620	-5
1270464	1620	1610	-10

Як очевидно з наведених фактичних даних чіткої залежності впливу продувки металу аргоном в ковші зниження температури рідкого металу не вбачається.

Цілком ймовірно, що це може бути пояснено не досконалою методикою вимірювання температури металу.

З роботи інших металургійних комбінатів відомо, що при продуванні металу аргоном на стаціонарних установках, через занурювальну фурму можливе регулювання температури розплаву. Заміри температури металу в ковші, що проводяться ними, при продуванні свідчать про те, що при продуванні металу аргоном протягом однієї хвилини температура розплаву в ковші знижується приблизно на 1.0 - 2.0 °С. Швидкість падіння температури металу визначалася кількістю газу, що вдується, і тепловтратами ковша.

Аналіз температури металу обсягом ковша без продування його аргоном показав, що у верхніх шарах значення температури значно вище, ніж середнє її значення обсягом ковша, ця різниця становить 12-15°С. Такий розкид температури металу за обсягом пов'язаний із реакціями розкислення, що протікають у верхніх обсягах металу, з інтенсивною акумуляцією тепла кладкою ковша, з нагріванням за рахунок теплоізоляції струменя металу.

За рахунок енергійного перемішування металу в ковші під час продування його аргоном через шиберний затвор досягається вирівнювання температури в обсязі ковша.

Для отримання достовірних даних про усереднення температури обсягом ковша була проведена дослідна продувка.

Практично знижується температура обробленого аргоном металу при розливанні. При дослідженні зміни температури сталі в процесі розливання 250-тонної плавки було встановлено суттєву різницю між розплавами, обробленими і необробленими аргоном. Дані зведені до таблиці 3.17.

Таблиця 3.17 - Зміна температури сталі 09Г2 у процесі розливання 250-тонних плавок

Без обробки аргоном		З обробкою аргоном	
Час розливання, хв	Температура, °С	Час розливання, хв	Температура, °С
0	1625	0	1625
5	1630	5	1625
10	1635	10	1625
20	1647	20	1623
30	1649	30	1623
40	1647	40	1620
50	1645	50	1618
60	1640	60	1615

Продуванням рідкого металу в ковші аргоном повністю усувається перепад температури по всьому об'єму обробленого металу, пов'язаного з наявністю в ковші зливу зони підвищеної температури.

Цей факт позитивно позначається на якості одержуваної сталі. Про що свідчать показники якості металу в обтискному цеху, де досягнуто зниження браку слябів з вини металу.

Для визначення відсотка зниження браку сталі, завдяки обробці рідкого металу аргоном, проаналізовано дані щодо кількості браку сталей різних марок за 2023 без продування і за 2024 з продувкою металу аргоном в ковші. Дані зведені у таблиці 3.18 та 3.19.

Таблиця 3.18 - Показники якості плавок без продування аргоном

Марка сталі	2023 рік						
	Придатного	Брак злитків за хім. складом		Брак слябів на I переділі		Усього браку	
	т	т	%	т	%	т	%
09Г2	396874	251	0.06	1007	0.26	1258	0.32
12ГС-16ГС	Тб970	-	-	138	0.82	138	0.82
10ХНДП	24498	-	-	197	0.80	197	0.80
10СП-20СП	34641	-	-	1944	1.44	1944	1.44
20К	27492	-	-	4044	14.4	4044	14.4
3СП	79437	-	-	3523	4.44	3523	4.44
Усього по сталях	679912	251		10855		11106	1.65

Таблиця 3.19 - Показники якості плавок з продувкою аргоном

Марка сталі	2024 рік						
	Придатного	Брак злитків за хім. складом		Брак слябів на I переділі		Усього браку	
	т	т	%	т	%	т	%
09Г2	274004	92	0.04	200	0.007	292	0.11
12ГС-16ГС	14164	-	-	81	0.57	81	0.57
10ХНДП	13172	-	-	06	0.46	06	0.46
10СП-20СП	55303	-	-	318	0.57	318	0.57
20К	14111	-	-	736	5.2	736	5.2
ЗСП	48019	14	0.03	818	1.7	832	1.7
Усього по сталях	418773	106		2213		2319	0.55

Наведені дані підтверджують, що обробка рідкої сталі аргоном значно покращує якість сталі, що у свою чергу відбивається на зниження відсотка браку.

Так, кількість загального браку злитків за хімічним складом і слябів першому переділі по знизилося з 1.65% до 0.55%, тобто на 1,1%.

Візуальними спостереженнями за розливом сталі типу 09Г2 продутою аргоном зазначено, що покращується розливання сталі. Наповнення злитків металом відбувається швидше.

Для з'ясування питання скорочення часу розливання сталі проведено спостереження за розливом плавок без продування аргоном та з продуванням аргоном з точним фіксуванням часом наповнення зливків. За тими та іншими плавками підраховано сумарний час розливу (чистий час наповнення зливків).

Практичні результати показали, що при розливанні плавок сталі типу 09Г2 з продувкою аргоном чистий час наповнення зливків зменшився в середньому на 5 хвилин 46 секунд, порівняно з розливом плавок тієї ж марки сталі, але не обробленої аргоном.

Зменшення часу розливання пов'язане з поліпшенням рідинної сталі в результаті обробки її аргоном. Помічено також, що оброблена аргоном сталь добре розливається навіть за нормальної температури на 17 - 40 град, нижче звичайної цієї марки сталі.

Для встановлення величини чаду розкислювачів під час обробки металу аргоном були оброблені дані з чаду по 25 плавкам сталі 09Г2С і сталі 09Г2Д, 09Г2 з продувкою аргоном і без продування аргоном.

Зазвичай витрата феросплавів на 250-тонну плавку сталі марки 09Г2С становить:

Феросплави та розкислювачі	Маса, кг
45-% феросиліцій (FeSi)	1700-1800
Силікомарганець (SiMn)	5300 - 5400
Алюміній (А1)	250
Ферротитан (FeTi)	250

На плавку сталі марки 09Г2Д чи 09Г2св. витрата феросплавів і розкислювачів дорівнює:

Феросплави та розкислювачі	Маса, кг
Ферромарганець (FeMn)	1400
Силікомарганець (SiMn)	4300
Алюміній (А1)	250

Провівши серію відборів проб та розрахунків, встановлено, що чад легуючих елементів складає:

По сталі 09Г2С

Технологія	Чад елемента, %	
	марганець	кремній
Плавка з продувкою аргоном	10.5	15.4
Плавка без продування аргоном	12.0	14.0

По сталі 09Г2Д, 09Г2св.

Технологія	Чад елемента, %	
	марганець	кремній
Плавка з продувкою аргоном	16.0	21.0
Плавка без продування аргоном	18.0	16.0

Таким чином, в результаті продування металу аргоном чад кремнію зростає на 1.4 -5 %, а ось чад марганцю знижується на 2%, порівняно з плавками без продувки аргоном.

Механічні характеристики.

Критеріями з метою оцінки ефективності описуваного методу поліпшення якості сталі її механічні властивості.

Для з'ясування впливу обробки металу аргоном на механічні властивості

сталі оброблені дані з механічних випробувань зразків сталі типу 09Г2.

Для аналізу взято 191 плавку сталі типу 09Г2 з продувкою аргоном і 175 плавок цієї сталі, але без продування аргоном.

Нижче наведені дані значення пластичних і міцності механічних властивостей поздовжніх і поперечних зразків з не обробленої і зразків сталі обробленої аргоном сталі

Таблиця 3.20 - Відносне подовження поздовжніх зразків сталі

Значення подовження, %	До 20.5	21-24	25-28	29-32	33-36	37-40	Усього
Дослідні зразки, шт	-	6	36	94	117	29	282
%	-	2.1	12.8	33.4	41.5	10.2	100
Звичайні зразки, шт	2	6	46	116	98	16	282
%	0.70	2.1	16.3	41.2	34.0	5.7	100

Таблиця 3.21 - Відносне подовження поперечних зразків сталі

Значення подовження, %	До 20.5	21-24	25-28	29-32	33-36	37-40	Усього
Дослідні зразки, шт	-	12~	49	118	84	19	282
%	-	4.3	17.4	41.8	29.8	6.7	100
Звичайні зразки, шт	6	21	64	117	65	9	282
%	2.1	4.7	22.7	41.5	23.1	3.2	100

Таблиця 3.22 - Межа плинності поздовжніх зразків сталі

Значення межі плинності, кгс/мм^2	30.5-31	31.5-33	33.5-35	35.5-37	37.5-39	>39.5	Усього
Дослідні зразки, шт	3	22	67	87	46	43	268
%	1.1	8.2	25.2	32.4	17.1	16.0	100
Звичайні зразки, шт	3	32	54	73	57	49	268
%	1.1	11.4	20.5	27.0	21.0	19.0	100

Таблиця 3.23 - Межа плинності поперечних зразків сталі

Значення межі міцності, кгс/мм^2	30.5-31	31.5-33	33.5-35	35.5-37	37.5-39	39.5	Усього
Досвідчені зразки, шт	3	36	73	83	43	30	268
%	1.1	13.4	27.3	31.0	16.0	11.2	100
Звичайні зразки, шт	3	40	68	70	53	34	268
%	1.1	15.0	25.44	26.1	19.7	12.7	100

Таблиця 3.24 - Межа міцності поздовжніх зразків обробленої сталі

Значення межі міцності, кгс/мм^2	45	46-48	48.5-51	51.5-54	54.5-57	57.5-60	Усього
Дослідні зразки, шт	2	40	134	62	25	2	265
%	0.7	15.1	50.5	23.6	9.4	0.7	100
Звичайні зразки, шт	6	45	105	78	24	7	265
%	2.2	17.0	40.0	29.4	9.1	2.3	100

Таблиця 3.25- Межа міцності поздовжніх зразків не обробленої сталі

Значення межі міцності, кгс/мм^2	45	46-48	48.5-51	51.5-54	54.5-57	57.5-60	Усього
Дослідні зразки, шт	2	42	138	56	25	2	265
%	0.7	15.8	52.0	21.4	9.4	0.7	100
Звичайні зразки, шт	7	48	121	60	24	5	265
%	2.6	18..1	45.7	22.6	9.1	1.9	100

Середні значення механічних властивостей сталі марки 09Г2 наведено у таблиці 3.26.

Таблиця 3.26 – Механічні властивості сталі марки 09Г2

Технологія	Механічні властивості					
	У поздовжньому напрямку			У поперечному напрямку		
	σ_s, кгс/мм^2	$\sigma_в$,кгс/мм^2	δ_S, %	σ_s кгс/мм^2	$\sigma_в$, кгс/мм^2	δ_S, %
Плавки з продуванням	36.2	50.6	34.7	35.5	50.0	34.2
Плавки без продування	36	51.0	31.3	35	49.8	29.7

При випробуванні поздовжніх та поперечних зразків сталі було встановлено, що в результаті продування металу аргоном значно зростають пластичні властивості сталі за практично незмінної міцності. На поздовжніх зразках відносне подовження збільшується в середньому з 31.3 до 34.7%, на поперечних зразках - з 29.7 до 34.2%.

Збільшення показників пластичності пов'язано, мабуть, із зменшенням вмісту водню, неметалевих включень у сталі та їх розрізненим характером розподілу.

Механічні властивості металу в поздовжньому та поперечному напрямку відрізняються незначно.

Зазначені властивості відповідають вимогам ДСТУ.

Результати контрольних випробувань механічних властивостей гарячекатаної сталі марок 09Г2, 09Г2Д, 09Г2Т, 09Г2С наведено у таблиці 3.27.

Таблиця 3.27 – Результати випробувань

Місяць	2023 без продування аргоном			2024 рік з продуванням аргоном		
	Випробовано партій	Із них незадовольні		Випробовано партій	Із них незадовольні	
		партій	%		партій	%
I	148	1	0.6	88	1	1.1
II	82	1	1.2	71	1	1.4
III	69	3	4.3	97	1	1.0
IV	95	1	1.0	112	-	-
V	94	1	1.0	123	-	-
VI	117	5	4.2	114	1	0.8
VII	ПЗ	1	0.9	137	-	-
VIII	91	2	2.2	74	1	1.3
IX	97	-	-	119		-
X	95	2	2.0	112	-	-
XI	114	-	-	132	2	1.5
XII	96	1	1.0	113	-	-
Разом за рік	1208	18	1.5	1208	7	0.54

По плавкам з продувкою аргоном кількість партій, що не витримали випробування, дорівнює 7, що становить 0.54%, по плавках ж без продування аргоном кількість партій дорівнює 18, тобто 1,5%. Таким чином, кількість партій, які не витримали випробування, скоротилося в 3 рази.

Дослідні плавки

На першій печі було проведено дві дослідні плавки сталі марки 09Г2 з продувкою аргоном у ковші для повного дослідження металу в гарячокатаному листі.

Основні показники за технологією виплавки та розливання дослідних плавок наведено у таблиці 3.28.

Таблиця 3.28 – Основні показники

Показники	1270490	0173489
Тривалість випуску	8.0 хв.	7.0 хв:
Температура випуску	1620°С	1625°С
Продування аргоном	8.0 хв.	7.0 хв.
Тиск аргону	3.5 атм.	3.5 атм.
Витрата аргону	56 $м^3$/год	50 $м^3$/год
Показники	1270490	0173489
Ківшова проба		
Вуглець	0.10%	0.10%
Марганець	1.43%	1.56%
Кремній	0.24%	0.20%
Сірка	0.025%	0.045%
Фосфор	0.017%	0.013%
Тривалість розливання	45 хв.	50 хв.
Угар марганцю	33%	13%
Угар кремнію	33%	39%

Розподіл хімічних елементів у процесі розливання наведено у таблиці 3.29.

Таблиця 3.29 - Хіманаліз проб металу в процесі розливання

№№ плавок	Хімічний аналіз, %						
	C	Mn	Si	S	P	Al	N_2
1270490 ковшева	0.10	1.45	0.24	0.025	0.021	-	0.007
1	0.11	1.48	0.25	0.025	0.022	0.01	
2	0.11	1.48	0.24	0.024	0.022	0.01	
3	0.10	1.47	0.25	0.024	0.022	0.01	
4	0.10	1.47	0.25	0.024	0.021	0.01	
5	0.10	1.45	0.24	0.025	0.022	0.01	
6	0.10	1.45	0.24	0.025	0.021	0.01	
7	0.09	1.45	0.24	0.025	0.022	0.01	
173489 ковшева	0.10	1.58	0.20	0.040	0.013		0.009
1	0.11	1.60	0.19	0.043	0.011	0.010	
2	0.10	1.60	0.20	0.043	0.013	0.010	
3	0.11	1.58	0.19	0.040	0.013	0.009	
4	0.11	1.58	0.20	0.043	0.013	0.009	
5	0.11	1.58	0.19	0.040	0.011	0.009	
6	0.11	1.58	0.19	0.043	0.013	0.009	
7	0.11	1.48	0.19	0.040	0.011	0.009	
8	0.11	1.38	0.19	0.040	0.011	0.008	

При розливанні від кожної дослідної плавки обробленої аргоном у ковші призначалися окремі зливки для прокатки та дослідження їх структури та механічних властивостей у гарячекатаному листі.

Прокатка дослідних плавок.

Після зняття виливниць із злитків дослідних плавок, злитки передавалися в колодязі обтискного цеху гарячим всадом.

Нагрів та прокатка злитків дослідних плавок в обтискному цеху проводилася відповідно до вимог технологічної інструкції ТІ 226 - П.03.01 за режимами, передбаченими для групи II марок сталей (таблиця 3.30).

Таблиця 3.30 - Дані щодо нагрівання, прокатування злитків та вирізки з гуркотів слябів

Марка сталі	Тип зливка	Кількість злитків	Час томлення, хв	Загальний час нагріву злитків, хв	Температура томлення злитків, °С	Прокатані на розміри, мм	Величина обрізу, %	
							головний	донною
09Г2Д	2А	14	80 -120	200-210	1300-1360	155х1260 2 зливка	11.2-11.6	4.8-4.9
						150х1240 11злитків		
09Г2	2А	15	70 - 130	180-200	1300-1350	160х1205 14 злитків	11.2-11.6	4.8-4.9
						155х1260 1 злиток		

Після вирізки з гуркотів слябів, сляби гарячим садом були посаджені в печі ПГПТЛ.

Нагрів слябів плавки 1270490 сталі марки 09Г2Д здійснювався за наведеним режимом в таблиці 3.31.

Таблиця 3.31 - Режим нагріву слябів

Зони печі	Томільна зона	I зона	II зона	Нижня зона
Температура, °С	1240-1290	1300-1370	-	1150-1300

Загальний час нагріву слябів у печі ПГПТЛ становив 120 хвилин. Після

закінчення нагрівання слябів у печі, вони були прокатані на розмір 2х1215 мм у рулони.

Температура прокатки становила 870 ° С, температура змотування - 690 ° С (без охолодження).

Нагрів слябів другої дослідної плавки № 173489 сталі марки 09Г2 проводився за режимом, наведеним у таблиці 3.32.

Таблиця 3.32 - Режим нагрівання слябів

Зони печі	Томільна зона	I зона	II зона	Нижня зона
Температура, °С	1258-1290	1300-1380	1260-1330	1140-1270

У цьому випадку загальний час нагрівання слябів становив 85 хвилин. Сляби прокатали на розмір 5х1210 в рулони. Температура прокатки становила 900 ° С, температура змотування - 670 ° С (без охолодження).

Як зазначалося раніше, під час розливання дослідних плавок призначалися зливки, для прокатки та дослідження їх у гарячекатаному листі.

На плавці 1270490 сталі марки 09Г2Д таким зливком був досвідчений злиток №8 з часом наповнення 1 хвилина 25 секунд по ходу розливання. Вказаний злиток прокатаний в рулон на розмір 5,0 х 1215мм.

Планом роботи передбачено дослідження дослідних зливків шляхом відбору смуг, листів на трьох горизонтах по висоті зливка для визначення макроструктури, мікроструктури, забрудненості неметалевими включеннями, розподілу хімічних елементів по висоті злитка, а також визначення механічних властивостей сталі.

Результати дослідження макроструктури смуг представлені у таблиці 3.33.

Таблиця 3.33 – Макроструктурний аналіз зразків

№ зразків	Місце відбору проб	Макроструктура
1	Верх 10 -11%	Метал щільний, окремі растрави
2	Середина 50%	Метал щільний, окремі растрави
3	Низ 95%	Метал щільний, окремі растрави

Проведений аналіз дозволив встановити, що макроструктура сталі щільною, в місцях залягання сульфідів і силікатів є окремі растрави.

Результати дослідження мікроструктури смуг представлені у таблиці 3.34.

Таблиця 3.34 – Мікроструктурний аналіз зразків

№ зразка	Місце відбору	Мікроструктура, бал			Зерно фериту, №
		Перліт	Смугастість	Відманштедт	
1 -1 1 -2	Верх зливка	0В 0В	1Б 1Б	1А 1.5А	8-9 оск. 8-9 оск.
2-1 2-2	Середина зливка	0В 0В	0Б 0.5Б	ОА 1А	8-9 оск. 8-7 оск.
3-1 3-2	Низ зливка	0В 0В	0Б 0.5Б	0.5А 0.5А	8-9 оск. 8-9 оск.

Мікроструктура металу феритно-перлітна, перліт 0В бала, полосчастість 0Б -1Б, видманштедт 0А - 1.5 бала, зерно фериту оскольчатої форми № 8-9 (№ 8-7 спостерігається в середині по висоті та ширині зливка).

Ліквація вуглецю відсутня у всіх досліджених зразках.

Результати дослідження забрудненості металу неметалевими включеннями наведено у таблиці 3.35.

Таблиця 3.35 – Оцінка забрудненості металу неметалевими включеннями

№ зразка	Місце відбору	Неметалічні включення, бал		
		Сульфіди	Оксиди	Силікати
1-1 1-2	Верх зливка	1 2	- 1	1 1
2-1 2-2	Середина зливка	2 3.5	1 -	2 -
3-1 3-2	Низ зливка	- -	- -	4.5 пласт. 4.5 пласт.

Проведені дослідження показали, що верх та середина злитка забруднені незначною кількістю неметалевих включень сульфідів та силікатів. У середній частині зливка по ширині спостерігаються включення сульфідів 3.5 бала. У нижній частині зливка спостерігаються включення пластинчастих силікатів 4.5 бали.

Перевірочний хіманаліз по висоті та ширині зливка представлений у таблиці 3.36.

Таблиця 3.36 – Хімічний аналіз зразків металу

Місце відбору проб		Вміст хімічних елементів, %								
% за висотою злитків	відносить, ширини зливка	C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	Cu	Al
10-11	1-1 крайка	0.10	1.43	0.25	0.029	0.025	0.03	0.06	0.20	0.01
	1-2 - 1/4	0.10	1.44	0.25	0.030	0.025	0.03	0.06	0.20	0.01
	1-3-серед.	0.10	1.42	0.26	0.030	0.024	0.03	0.06	0.20	0.01
50	2-1	0.10	1.44	0.26	0.028	0.024	0.03	0.06	0.20	0.01
	2-2	0.10	1.45	0.26	0.029	0.024	0.03	0.06	0.20	0.01
	2-3	0.10	1.45	0.26	0.029	0.025	0.03	0.06	0.20	0.01
95	3-1	0.09	1.43	0.25	0.029	0.024	0.03	0.06	0.20	0.01
	3-2	0.09	1.43	0.26	0.028	0.023	0.03	0.06	0.20	0.01
	3-3	0.09	1.44	0.26	0.028	0.023	0.03	0.06	0.19	0.01

При цьому ковшова проба мала наступний хіманаліз:

Вміст хімічних елементів, %								
C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	Cu	N
0.10	1.43	0.24	0.025	0.017	0.04	0.06	0.21	0.007

Розподіл хімічних елементів по висоті та ширині зливка рівномірний.

Результати випробувань механічних властивостей наведено у таблиці 3.37.

Таблиця 3.37 – Механічні властивості зразків сталі

№ зразків	Місце відбору	Товщина листа	Механічні властивості			R_B=100 середнє	Вигин d=2a
			ΣS, кгс/мм^2	ΣB, кгс/мм^2	ΔS,%		
1 1	Верх зливка	4.8 4.8	32.0 32.2	48.8 48.7	35.1 35.0	77 77	Уд. Уд.
№ зразків	Місце відбору	Товщина листа	Механічні властивості			Rв=100 середнє	Вигин d=2a
			ΣS, кгс/мм^2	ΣB, кгс/мм^2	ΔS,%		
2 2	Середина зливка	4.83 4.83	31.2 32.2	48.7 48.9	35.8 35.8	78 77	Уд. Уд.
3 3	Низ зливка	4.95 4.93	33.3 34.1	48.5 48.9	37.5 37.5	79 79	Уд. Незадовільно.
ГОСТ 19282-73		5-9	>31	>45	>21		

Механічні властивості металу відповідають вимогам ГОСТу, виняток становить одне випробування третьої проби на вигин, що отримало оцінку "незадовільно" в нижній частині зливка.

Другий досвідчений злиток № 3 плавки № 1270490 сталі марки 09Г2Д з

наповненням 3 хвилини 10 секунд був прокатаний на розмір листа 5.0 х 1215 мм.

Аналогічно дослідному зливку № 8 у гарячекатаному стані було досліджено макроструктуру, мікроструктуру, забрудненість неметалевими включеннями та рівномірність розподілу хімічних елементів.

Макроструктурний аналіз зразків сталі показав, що метал на всіх горизонтах зливка (10, 50, 95%) щільний, є окремі растрави у місцях залягання неметалевих включень.

Дані щодо аналізу мікроструктури зразків металу наведені у таблиці 3.38.

Таблиця 3.38 – Мікроструктурний аналіз зразків металу

№№ зразка	Місце відбору	Мікроструктура, бал			Зерно фериту, №
		Перліт	Смугастість	Відманштедт	
10-1 10-2	Верх зливка	0В 0В	0Б 0Б	1А 1А	8-9 оск. 8-9 оск.
50-1 50-2	Середина зливка	0В 0В	0Б 0Б	1А 1А	8-9 оск. 8-9 оск.
95-1 95-2	Низ зливка	0В 0В	0Б 0Б	1А 1А	8-9 оск. 8-9 оск.

Структура металу феритно-перлітна. Ліквація вуглецю у всіх зразках відсутня.

Результати дослідження забрудненості металу неметалевими включеннями наведено у таблиці 3.39.

Таблиця 3.39 - Забрудненість зразків металу неметалевими включеннями

№№ зразка	Місце відбору	Неметалічні включення, бал		
		Сульфіди	Оксиди	Силікати пластинчасті
10-1 10-2	Верх зливка	4 3.5	- 1	4.5 4.5
50-1 50-2	Середина зливка	3 3	1 -	4 3.5
95-1 95-2	Низ зливка	2 5	- -	4.5 5

Забрудненість металу сульфідами переважає у верхній частині. Забрудненість пластинчастими силікатами в середній частині зливка дещо менша, порівняно з верхньою та середньою частинами.

Перевірочний хіманаліз по висоті та ширині зливка представлений у таблиці 3.40.

Таблиця 3.40 – Хімічний аналіз зразків металу

Місце відбору проб		Вміст хімічних елементів, %								
% по висоті злитків	відносить, ширини зливка	C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	Cu	Al
10	1-1 крайка	0.10	1.43	0.22	0.038	0.015	0.06	0.05	0.10	0.007
	1-2 - 1/4	0.11	1.43	0.21	0.045	0.016	0.06	0.06	0.10	0.009
	1-3-серед.	0.11	1.43	0.22	0.047	0.015	0.06	0.06	0.10	0.007
50	2-1 крайка	0.10	1.45	0.21	0.043	0.016	0.06	0.05	0.11	0.006
	2-2	0.11	1.45	0.22	0.045	0.016	0.07	0.06	0.09	0.005
	2-3	0.11	1.45	0.22	0.045	0.016	0.06	0.06	0.09	0.06
95	3-1	0.10	1.43	0.22	0.040	0.016	0.06	0.05	0.11	0.005
	3-2	0.10	1.43	0.22	0.041	0.016	0.06	0.06	0.09	0.005
	3-3	0.10	1.43	0.22	0.039	0.016	0.06	0.05	0.09	0.005

Хіманаліз ковшової проби

Вміст хімічних елементів, %								
C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	Cu	N
0.10	1.56	0.20	0.043	0.013	0.04	0.06	0.09	0.009

Як видно з таблиці розподіл хімічних елементів по висоті та ширині зливка рівномірний. Невеликі відхилення є за вмістом сірки.

Таблиця 3.41 – Результати механічних випробувань

№ зразків	Місце відбору	Товщина листа	Механічні властивості			Rв=100 середнє	Вигин d=2a
			ΣS, кгс/мм^2	ΣB, кгс/мм^2	ΔS,%		
1 1	Верх зливка	5.13 5.12	35.6 35.6	49.1 50.2	35 34	79 79	Уд Уд.
2 2	Середина зливка	4.91 4.90	32.8 32.9	48.7 48.7	34 35	78 78	Уд. Уд.
3 3	Низ зливка	4.77 4.77	32.8 32.0	46.7 47.2	34 35	76 75	Уд. Уд.
ГОСТ 19282-73		5-9	>31	>45	>21		

Механічні властивості відповідають вимогам ДСТУ.

Висновок.

Спосіб продування металу аргоном через шиберні затвори дуже простий в обігу і доступний кожному сталеплавильному цеху, до того ж не потребує великих капітальних витрат.

Продування металу аргоном через шиберні затвори сприяє вирівнюванню хімічного складу обсягом ковша.

Відхилення по марганцю та кремнію на плавках з продувкою аргоном, що перевищують ± 0.10% у 3 рази менше, ніж на звичайних плавках.

Відхилення між пробами вуглецю не перевищують допустимих меж відхилення.

На плавках з продувкою аргоном сталі типу 09Г2 кількість злитків переведених у сталь 0 через невідповідність марганцю і кремнію вимогам ГОСТу майже в 2 рази менше, ніж на звичайних плавках.

Продуванням металу аргоном повністю усувається градієнт температур в обсязі ковша.

Застосування аргону для продування металу дозволяє поліпшити розлив сталі, особливо низьковуглецевої спокійної сталі типу 09Г2. Час розливання скорочується більш як на 5 хвилин.

На плавках з продуванням аргоном збільшується чад кремнію від 1.5 од 5 %, чад марганцю знижується на 2.0%.

Мікродослідження злитків плавок з продуванням аргоном показало, що метал на всіх горизонтах зливка щільний. Зменшилася центральна пористість та точкова неоднорідність. Ліквація вуглецю відсутня.

Спостерігається забрудненість сульфідами та пластинчастими силікатами.

Механічні властивості металу відповідають вимогам ДСТУ. У поперечному та поздовжньому напрямку відрізняються незначно. Спостерігається тенденція до підвищення пластичних властивостей.

Застосування аргону для продування металу спокійних низьковуглецевих сталей дозволило за рахунок зниження браку злитків за хімічним складом та браку в обтискному цеху по полонам, рванінам, тріщинам отримати економію металу та забезпечити економічний ефект.

3.2 Визначення основних технічних положень з організації післяпродувного перемішування аргоном ванни

Ефективність продування ванни подових агрегатів аргоном через склепіння фурми зниження концентрації вуглецю без переокислення розплаву

визначається значною мірою кінетичними чинниками. Тому, при розробці основних положень технології після продувного перемішування ванни аргоном і глибини занурення душових пристроїв на масообмін у ванні, тривалість перемішування та витрати аргону, оптимальну концентрацію вуглецю перед початком перемішування в порівнянні з отриманими теоретичними розрахунками, а також визначалася необхідна величина перегріву метала перед перемішуванням.

Перемішування ванни аргоном проводили через одну, дві і три склепінні кисневі фурми протягом 4 - 12 хв. після закінчення продування металу киснем. Витрата аргону змінюється не більше 1500 – 3100м^3/час.

Для розробки основних технологічних положень було проведено три серії дослідних плавок, що відрізняються в основному кількістю продувних фурм і витратою аргону, що подається через них для обробки розплаву.

Режим продування ванни аргоном та послідовність технологічних операцій при її здійсненні були наступними. При досягненні вмісту вуглецю у ванні на рівні 0,03 – 0,10% та температури металу на 10 – 20°С (верхнє значення відноситься до витрати аргону порядку 3000м^3/год) вище, передбаченої діючою технологічною інструкцією, склепіння фурми піднімалися на 0,5-1,0 м над рівнем шлаку і припинялася подача кисню шляхом перекриття загального кульового клапана та індивідуальних кульових клапанів на всі три продувні фурми. Останнє забезпечувало надходження аргону лише ті фурми, якими велася продувка.

Після цього встановлювалися задані витрати аргону до фурм, через які велося перемішування, і вони опускалися в метал на глибину 100-400 мм. У процесі продування підтримувався заданий витрата аргону і фіксувалося падіння його тиску на вході в цех, а також зміна температури металу в процесі продування за показаннями безперервного вимірювання.

З метою зменшення падіння температури металу в процесі аргонного продування при необхідності проводилася подача палива через пальники.

На перших плавках продування аргоном проводилося через фурми зі збільшеною до 600 мм довгою захисною зовнішньою мідною трубою.

Однак, як показали результати вимірювання температури охолоджувальної фурми води, заглиблення останньої більш ніж на 300 мм викликає різке збільшення температури (до 90°С) і потребує її підйому. Тому при проведенні подальших плавок використовувалися звичайні кисневі фурми з довжиною панчохи 300 мм. Заглиблення фурм в метал виконували таким чином, щоб температура води, що відходить з кожної фурми, була не нижче 50°С, але й не перевищувала 60°С.

Після закінчення продування ванни аргоном фурми піднімалися на 0,5 – 1,0 м над рівнем шлаку, закривалася подача аргону та здійснювався випуск плавки.

На кожній дослідній плавці проводився відбір проб металу, шлаку та фіксувалася температура перед початком та після закінчення продування ванни аргоном.

Проби металу аналізувалися на концентрацію вуглецю, марганцю, сірки, фосфору, кисню та азоту. У пробах шлаку визначалося Вміст FeOзаг і основність.

3.2.1 Дослідження поведінки домішок металу та компонентів шлаку

При аналізі даних дослідних плавок встановлено, що обробка ванни аргоном може забезпечити отримання низьких вмісту вуглецю в металі в межах 0,02 - 0,03% при одночасному зниженні концентрації кисню, що досить добре узгоджується з теоретичними передумовами. Так, вміст вуглецю в процесі продування ванни аргоном у середньому знижувалося на 0,015% абс. чи 31% від. (З 0,048 до 0,033%), а кисню на 0,025% абс. чи 21% від. (З 0,117 до 0,092%). У той же час (рис. 4) на плавках без продування ванни аргоном зниження концентрації вуглецю з 0,05 до 0,03% супроводжувалося збільшенням концентрації кисню в металі в середньому на 0,030% абс. чи 27% від. (З 0,11 до 0,14%). Отже, у разі необхідності отримання вмісту вуглецю в металі на рівні 0,03% при аргонному продуванні забезпечується вміст кисню приблизно в півтора рази нижче, ніж при продуванні ванни тільки киснем.

При цьому вміст оксидів заліза в шлаку на плавках з продуванням розплаву

аргоном при досягненні концентрації вуглецю у ванні 0,03% склав в середньому 21% і було на 3 - 5% нижче порівняно з плавками, проведеними за звичайною технологією.

Отримані результати підтверджують теоретичні передумови термодинамічної можливості зменшення концентрації вуглецю при одночасному зниженні концентрації кисню в металі за рахунок створення умов для розвитку реакції окислення вуглецю при низьких його значеннях за рахунок розчиненого в металі кисню і оксидів заліза в шлаку внаслідок збільшення перемішування продувки її аргоном, і навіть зниження парціального тиску оксиду вуглецю у бульбашках і великий міжфазної поверхні контакту металу з газовою фазою (аргоном).

У процесі обробки ванни аргоном вміст марганцю, фосфору, сірки та азоту в металі практично не змінилося і в середньому відповідно склало (у чисельнику – до продування ванни аргоном, а у знаменнику – після):

$$\frac{0,074}{0,069};\frac{0,014}{0,015};\frac{0,024}{0,023}u\frac{0,0046}{0,0051}\%.$$

Основність шлаку у своїй відповідно становила 2,62 і 2,66.

3.2.2 Оцінка впливу режиму продування на зміну температури ванни

У період продування розплаву аргоном спостерігалося зниження температури металу, величина якого переважно визначалася режимом і тривалістю продування. При цьому в перші дві хвилини продування аргоном зменшення температури металу, що фіксується методом безперервного виміру, не спостерігалося, що пояснюється, мабуть, інерційністю системи, а потім наступало зниження температури, рівень якого залежав від витрати аргону, глибини занурення фурм в метал, тривалості продування. Так, при витраті аргону 3000 м^3/год, через три продувні фурми, глибині їх занурення в метал на 150 – 200 мм і тривалістю продування 5 хв. (Оптимальний режим продування з точки зору забезпечення металургійних показників) зниження температури металу не перевищувало 10 - 15°С. З метою зменшення теплових втрат ванни та

розрідження шлаку в період продування аргоном доцільно здійснити подачу палива через пальники.

3.2.3 Визначення оптимальної витрати аргону

Як було показано вище, випробувалися режими подачі аргону з витратою 1500 – 3100 м^3/год при продуванні через одну, дві і три кисневі склепіння фурми. Як показали дані дослідних плавок, найбільш доцільною є продування через три склепіння фурми з витратою аргону порядку 3000 м^3/год. Подача аргону з такою витратою через одну фурму викликає сильне розбризкування металу, а отримані результати (зниження концентрації вуглецю і кисню) при одній і тій же тривалості продування виходять менш стабільними і не досягається рівень, що забезпечується при подачі через три фурми. Продування через одну фурму з витратою 1500 м^3/год не забезпечує отримання заданих металургійних показників. Оптимальна тривалість продування ванни аргоном з витратою 3000 м^3/год через три фурми становить близько 5 хв. Збільшення тривалості продування не покращує металургійні показники, збільшує питому витрату аргону та тепловтрати ванни і може бути рекомендовано лише у разі необхідності додаткового зниження температури металу на 5 - 10°С.

Виходячи з цього, продування аргоном через одну фурму здійснювати недоцільно, а через дві фурми - слід застосовувати у разі виходу з ладу однієї фурми, при цьому тривалість продування з витратою 3000 м^3/годину слід збільшувати на 1 - 2 хв.

Найбільша ефективність після продувного перемішування ванни аргоном з позиції отримання необхідних показників зниження концентрації вуглецю і зниження окисленості металу досягається при продуванні ванни через три склепінні фурми з витратою аргону 3000 м^3/годину з зануренням фурм на 150 - 200 мм . У цьому питома витрата аргону становить близько 1,5 м^3/т сталі.

Оцінка впливу продування ванни аргоном на зміну величини чаду та витрати феросплавів

Зіставлений аналіз зміни величини чаду феромарганцю та його витрати

при розкисленні сталі в ковші було здійснено за даними дослідних плавок з продуванням ванни аргоном і плавок поточного виробництва при виплавці низьковуглецевої марки сталі 08Ю ДСПА. Сталь зазначеної марки розкисляли за прийнятою в цеху технологією – феромарганцем лише у ковші.

Відомо, що на величину чаду розкислювачів негативно впливає збільшення окисленості металу і кінцевого пічного шлаку. На дослідних плавках, як було встановлено рані, спостерігалося зниження окисленості металу та шлаку при низьких вмістах вуглецю внаслідок продування розплаву аргоном, що дозволяє зменшити чад застосовуваного для розкислення сталі в ковші феромарганцю. Однак за інших рівних умов на рівень вмісту кисню в металі та оксидів заліза в шлаку істотно впливає концентрація вуглецю, особливо при низьких її величинах. У зв'язку з цим ступінь чаду марганцю на дослідних та порівняльних плавках становили за однакового вмісту вуглецю в металі. Величина чаду марганцю зменшується в міру збільшення вмісту вуглецю і на дослідних плавках в середньому склала 42, 34 і 31,5% відповідно при концентрації вуглецю 0,06, 0,07 і 0,08%. У той же час чад марганцю при зазначених вмістах вуглецю на плавках поточного виробництва відповідно становив 48, 38 і 34,5% і був на 6,4 і 3% вище порівняно з дослідними плавками.

За даними дослідних і порівняльних плавок встановлено, що чад марганцю дещо зростає зі збільшенням вмісту марганцю в металі перед випуском плавки та зниження витрати феромарганцю для розкислення. Слід зазначити, що обидва параметри взаємопов'язані, оскільки збільшення залишкового вмісту марганцю в металі супроводжується зниженням кількості феромарганцю, що присаджується в ківш. Останнє визначає збільшення чаду марганцю внаслідок зменшення елементів розкислювачів, що вводяться з феромарганцем – кремнію, марганцю, вуглецю.

Нижчий чад марганцю, що має місце на дослідних плавках, зумовив можливість зменшення витрати феромарганцю порівняно з плавками поточного виробництва. Витрата феромарганцю на дослідних плавках нижче, ніж на порівняльних, при цьому різниця у витраті збільшується в міру зниження залишкового марганцю вмісту в металі. Обробка даних і порівняльних плавок,

на яких вміст вуглецю і марганцю в металі перед випуском становило відповідно 0,05 і 0,05 - 0,06% (найчастіше зустрічаються на практиці величини при виплавці низьковуглецевих марок сталі), показала, що виходу феромарганцю в ківш при продуванні ванни аргоном у середньому становив 1,34 і був на 150 кг нижче в порівнянні зі звичайною технологією. Таким чином, зниження окисленості металу і шлаку в результаті продування розплаву аргоном дозволяє за інших рівних зменшити чад феромарганцю, що присаджується в ківш для розкислення сталі, що дозволяє зменшити його витрату на 100 – 150 кг.

3.2.4 Визначення раціональної концентрації вуглецю в металі перед початком продування

У ДСПА в основному здійснюється виплавка низьковуглецевих марок сталі типу 08Ю, 08кп, 08пс, 1пс, 2пс, 10пс.

Для зниження переокислення металу та шлаку, зменшення витрати феросплавів технологічною інструкцією комбінату «Запоріжсталь» передбачається зупинка продування ванни киснем при вмісті вуглецю в металі не менше 0,07%. У той же час узагальнення результатів аналізу про вплив концентрації вуглецю на пластичні та витяжні характеристики холоднокатаного автолиста, отриманих у світовій практиці, свідчать про те, що для категорій витяжки ОСВ та ВОСЕ вміст вуглецю на випуску не повинен перевищувати 0,02 – 0,04% .

Поряд із цим, низьковуглецева сталь однієї марки може мати різне застосування у споживача і тому не завжди обов'язково отримувати дуже низький вміст вуглецю в готовій сталі. Продування ванни аргоном в цьому випадку слід використовувати для зниження окисленості розплаву і витрати феросплавів у порівнянні зі звичайною технологією та підвищення якості металу. У зв'язку з цим виникає необхідність визначення раціональної концентрації вуглецю в металі перед початком продувки аргоном ванни для різних марок сталі в залежності від їх призначення.

Раціональну концентрацію вуглецю перед початком продування аргоном

для різних марок сталі визначали на плавках, проведених з оптимальним режимом дуття. При цьому продування ванни киснем закінчували при вмісті вуглецю в металі в діапазоні 0,02 - 0,13%. Результати дослідних плавок показують, що продування ванни аргоном призводить до зниження вмісту вуглецю. Величина цього зниження визначалася швидкістю окислення вуглецю, яка за інших рівних умов зменшувалася (як і при продуванні розплаву киснем) у міру зниження концентрації вуглецю в металі. Цим зумовлено, що у процесі обробки розплаву аргоном протягом 5 хвилин. Концентрація вуглецю в металі зменшувалася на 0,03, 0,02-0,03, 0,01-0,02 та 0,01% відповідно при початковому його вмісті 0,13-0,10, 0,09-0,08 0,07-0,05,0,04% і менше. Аналіз наведених результатів показує, що дані щодо зниження вмісту вуглецю в металі внаслідок продування його аргоном, отримані розрахунковим шляхом і на практиці, добре узгоджуються.

Вміст вуглецю в готовій сталі зазначених марок відповідно не повинен бути більше 0,07, 0,09 та 0,10%. Виходячи з вищевикладеного, було визначено, що концентрація вуглецю перед початком продування ванни аргоном, що забезпечує отримання заданого вмісту в готовій сталі марок 08Ю, 08пс і 08кп, становить відповідно 0,04-0,06, 0,08-0,11 і 0 09-012%.

Слід зазначити, що зупинка продування ванни киснем на нижчому вмісті вуглецю (0,02-0,03%) при виплавці сталі 08Ю не раціональні, оскільки різке збільшення в цьому випадку концентрації кисню в металі та оксидів заліза в шлаку не компенсується величиною зниження окислення металу і шлаку в результаті після продувної обробки ванни аргоном.

Отримані залежності можуть бути використані для визначення концентрації вуглецю в металі перед початком продування розплаву аргоном і для інших низьковуглецевих марок сталі.

3.2.5 Дослідження впливу продування металу аргоном перед випуском плавки на якість сталі

На ряді дослідних та порівняльних плавок було проведено дослідження

макро- та мікроструктури, хімічної неоднорідності та механічних властивостей гарячекатаного листа сталі 08кп, 08пс та 08Ю. Зазначене дослідження проводили на зразках, відібраних по ширині листа (край, ¼ і ½) на горизонтах, що відповідають 5, 50 та 95% від верху зливка. Досвідчені плавки були проведені з раціональним режимом продування ванни в аргоном ДСПА.

Виконано також порівнянну оцінку величини браку металу на першому переділі, підвищеного обрізу, а також механічних властивостей холоднокатаного листа сталі 08кп, 08пс і 08Ю за результатами випробувань плавок з продувкою аргоном ванни і плавок поточного виробництва.

Механічні властивості гарячекатаного листа дослідних та порівняльних плавок задовольнили вимоги ГОСТу. Величина відносного подовження металу дослідних плавок в середньому склала 36,5% (для сталі 08кп, 08пс) та 38,3% (для сталі 08Ю) і була відповідно вищою на 5,2% абс. (15,6% відн.) та 4,4% абс. (13% отн.), ніж порівняльних плавках .

Дослідження макроструктури гарячекатаного листа сталі 08кп, 08пс та 08Ю дослідних плавок свідчить про те, що метал був щільним. Однак на окремих плавках у гаряче катаному листі на середньому та нижньому горизонтах спостерігався розшар по пластичних та тендітних SiO_2, а в нижній частині зливка – по шпинелях та Al_2O_3. Це положення, мабуть, обумовлено тим, що характер кипіння металу у виливницях цих плавках відхилявся від нормального. Останнє суттєво пов'язане з рівнем окисленості металу, який змінюється від плавки до плавки і недостатньо стабільний. Продування розплаву в печі аргоном перед випуском плавки значною мірою стабілізує окисленість металу, що дозволяє суттєво оптимізувати інтенсивність його кипіння у виливницях.

Дослідженням мікроструктури зразків металу дослідних плавок встановлено, що найбільш характерними неметалевими включеннями для сталі 08кп, 08пс є точкові шпинелі і у вигляді рядків, а для сталі 08Ю - включення Al_2O_3 по всій висоті зливка.

Включення сульфідів спостерігалися, в основному, в головній та середній частині зливка. Включення силікатів крихких, пластичних та недеформованих у вигляді поодиноких випадків спостерігаються по всій висоті зливка. У металі

плавок сталі 08Ю включень сульфідів і силікатів не спостерігалося.

Метал злитків порівняльних плавок сталі 08кп, 08пс забруднений переважно алюмінатами, шпинелями і силікатами. Найбільше забрудненість металу Al_2O_3 спостерігалася в головній частині зливка. Шпінелі спостерігалися по всій висоті злитків, а силікати в донній частині.

Основними неметалевими включеннями в металі порівняльних плавок сталі 08Ю були алюмінати та шпинелі.

Зіставлений аналіз механічних властивостей холоднокатаного листа дослідних та порівняльних плавок сталі 08кп, 08пс показав, що при продуванні металу в печі аргоном спостерігається поліпшення властивостей по переділу плинності (в середньому на 6-8% відн.), тимчасового опору, відносного подовження (в середньому на подовженні) 4-5%).

Аналіз механічних властивостей холоднокатаного листа товщиною 0,8-1,5мм сталі 08Ю показав, що спостерігається дещо менші значення величин переділу плинності та відношення σ_T / σ_B металу дослідних плавок у порівнянні з плавками поточного виробництва, що характеризується здатністю сталі до більш глибокої витяжки.

З наведеного вище випливає, що внутріагрегатна обробка металу аргоном покращує показники механічних властивостей холоднокатаного листа та забезпечує стабільне отримання їх більш вузьких межах, що відповідають вимогам категорії витяжки ОСВ. Це зумовлено тим, що дана технологія, як показано вище, дозволяє знизити та стабілізувати окисленість металу та шлаку безпосередньо перед випуском плавок при виплавці низьковуглецевих марок сталі.

3.2.6 Особливості виплавки сталі марки 09Г2С з продуванням металу аргоном у ковші під час випуску плавки

Завалка та прогрівання шихти

Шихтові матеріали (металобрухт, вапно (вапняк)) подаються до печі одним складом до початку випуску плавки.

Після заправки печі та огляду подини проводиться завалка шихти. Димові гази під час завалки та прогріву прямують із «гарячої» ванни в «холодну».

В умовах відсутності природного газу піч працює без додаткового опалення газокисневими пальниками з відведенням газів з гарячої ванни в холодну.

Послідовність завалки шихти:

а) на подіну рівним шаром завалюється легковагий брухт;

б) у середнє завалочне вікно - три мульди вапна (вапняку) з розкантовкою вправо-вліво;

в) інше вапно (вапняк) – поступово в крайні завалочні вікна;

г) пакети і важкий брухт завалюються в останню чергу таким чином, щоб вони не перешкоджали нормальному опусканню продувних фурм, обріз слябів на укоси завалювати забороняється.

Завалка має бути закінчена в період плавлення у сусідній ванні.

Після закінчення завалки шихти проводиться відштовхування брухту від передньої стінки за допомогою завалочної машини, очищення порогів від брухту та підсипання їх сирим доломітом.

У період прогріву допускається подача кисню на скрап через склепіння фурми протягом 10 – 15 хвилин із витратою трохи більше 4000 м^3/год для проплавлення колодязів під фурмами.

Тривалість прогріву шихти повинна забезпечувати синхронізацію закінчення заливки чавуну з початком випуску плавки з гарячої ванни.

Заливка чавуну

До моменту заливки чавуну повинні бути встановлені під піч дві порожні шлакові чаші, сталевипускний та заливальний жолоби. Одночасно з подачею на піч чавуну вказується тара кожного ковша та вага налитого в нього чавуну.

Заливка чавуну повинна починатися за 15 – 20 хвилин до початку випуску плавки із сусідньої ванни та закінчена до моменту випуску.

Під час заливання чавуну проводиться подача кисню через склепіння з витратою не більше 4000 м^3/год. Фурми повинні опускатися обережно уникнення

натикання на металобрухт і підтримуватись над рівнем шихти на відстані 200 – 400 мм.

З метою збільшення виходу придатних зливків, заливку чавуну дозволяється проводити у два прийоми. Друга порція чавуну в кількості 15% загальної витрати чавуну на плавку доливається в період доведення.

Плавлення

Продування ванни киснем має починатися тільки після закінчення продування в сусідній ванні. Для продування ванни застосовується кисень чистотою не менше 95%.

Спуск шлаку здійснюється через поріг середнього вікна завалки. Максимальна кількість шлаку спускається до «осідання» ванни. У разі бурхливого сходження шлаку інтенсивність продування знижується до 3000 $м^3$/год. Рекомендується спускати щонайменше 0,5 чаші шлаку.

Після розплавлення ванни відбирається проба металу та шлаку. У пробі металу визначається вміст вуглецю, марганцю, сірки. У пробі шлаку – вміст закису заліза та основність. Момент розплавлення фіксується за вмістом вуглецю 0,6 – 1,0% та температурі металу 1550 – 1580°С.

Допускається нижчий вміст вуглецю в пробі металу за розплавленням за умови, що температура металу при цьому буде вищою на 15 – 20°С на кожну 0,1% зниження вмісту вуглецю в пробі розплавлення проти необхідного.

До кінця періоду плавлення при нагріванні металу до температури не нижче 1550°С поліпшення десульфурації, рекомендується зробити присадку вапна у кількості 1 – 3 т.

Доведення

Оптимальним ходом процесу доведення плавки вважається такою, коли продування ванни киснем ведеться без перерв усіма фурмами і без присадок матеріалів у піч і забезпечує отримання металу необхідного хімічного складу за необхідної температури.

Регулювання швидкостей вигоряння вуглецю та нагрівання металу здійснюється зміною інтенсивності продування ванни киснем, положення

продувних фурм щодо межі шлак-метал, присадками охолоджувачів (окалина, залізна руда, металобрухт), доливкою чавуну в піч, додатковим опаленням печі газокисневими пальниками.

При перегріві металу проводиться присадка в піч вапна, окалини, залізняку або оборотного брухту. Кількість присадок не повинна призводити до надмірного остуджування металу.

Присадки окалини, залізняку або оборотного брухту повинні бути закінчені не пізніше, ніж за 10 хвилин до початку випуску, присадки вапна в кількості не більше 2 т - не пізніше, ніж за 15 хвилин до випуску плавки.

При «холодному» ході процесу виробляється доливання чавуну в піч з подальшим продуванням ванни.

При недостатньому вмісті вуглецю в металі в момент закінчення продування і нормальному нагріванні металу також допускається доливання чавуну в піч без подальшого продування ванни киснем.

Доливання чавуну в обох випадках проводиться малими порціями в кількості, що не викликає перевантаження сталерозливного ковша.

Загальна кількість спущеного шлаку в періоди плавлення та доведення має бути не менше 0,5 чаші. Кількість шлаку на випуску з печі має бути не більше ніж 2/3 чаші. Виправлення густого шлаку та прискорення шлакоутворення здійснюється шляхом короткочасної (до 3 хвилин) продування ванни киснем з зануренням фурм на рівень розділу шлак-метал.

По ходу доведення плавки через кожні 10 хвилин та на випуску відбираються проби металу для контролю вмісту вуглецю та марганцю.

Знесірчення в період доведення повинно забезпечити регламентований вміст сірки для марки сталі, що виплавляється. При цьому в процесі знесірчення повинно бути видалено не менше 40% сірки, що міститься в металі.

Безпосередньо перед випуском плавки відбирається проба шлаку визначення Вмісту закису заліза і основності.

Температура металу перед випуском становить 1610 – 1620^{o}C.

Розкислення та легування

Спокійна вуглецева та низьколегована сталь розкислюється повністю в ковші. Низьколегована сталь розкислюється силікомарганцем і, при необхідності, феромарганцем або 45-відсотковим феросиліцієм.

При розкисленні в ковші чад марганцю із силікомарганцю коливається не більше 10 – 20%, а кремнію – 3 – 10%. При розкисленні сталі в ковші феромарганцем та феросиліцієм, чад марганцю з феромарганцю коливається в межах 5 – 15%, і кремнію з феросиліцію – 15 – 30%.

Враховуючи низький чад кремнію з силікомарганцю при введенні його в ківш для сталі марок 09Г2С та 09Г2Д, рекомендується встановлювати його витрату з розрахунку введення кремнію в метал 0,3 – 0,35%.

Недостатня кількість марганцю коригується феромарганцем.

Випуск плавки

Сталевипускний жолоб встановлюється на піч до заливання чавуну. До моменту випуску плавки жолоб має бути ретельно просушений та очищений від сміття.

Сталерозливні ковші під жолоб повинні встановлюватися не пізніше ніж за 30 хвилин до початку випуску плавки.

Випускний отвір до моменту випуску плавки повинен бути ретельно оброблений та очищений від заправних матеріалів.

Розміри та форма випускного отвору повинні забезпечити нормальний сход металу з печі по жолобу щільним струменем.

Тривалість випуску плавки має бути 7 – 15 хвилин.

Низьколеговані, спокійні, нестаріючі і напівспокійні марки сталі з метою усереднення хімскладу та температури під час випуску продуваються аргоном. Продування здійснюється через шиберний затвор від початку випуску до появи шлаку.

Після встановлення ковша під сталевипускний жолоб печі розливник з'єднує шланг продувного пристрою з аргонопроводом.

Майстер печі перевіряє тиск аргону у магістралі, який має бути не менше 6 кгс/см^2.

Подачу аргону робить майстер печі відкриттям регулювального вентиля за 1 - 2 хвилини до початку випуску, при цьому тиск після регулювального вентиля встановлюється рівним 2 кгс/см^2.

Витрата аргону в момент початку сходу металу - від 30 до 70 м^3/годину, до кінця сходу плавки тиск аргону має бути не менше 4 кгс/см^2, в іншому випадку може відбутися замелювання вихідного отвору продувного пристрою внаслідок збільшеного феростатичного тиску стовпа рідкого металу. Витрата аргону на той час має бути від 50 до 80 м^3/годину, залежно від інтенсивності бурління.

Тривалість продування 7 – 15 хвилин.

До початку сходу шлаку з печі продування аргоном припиняється (закривається регулювальний вентиль). Після закінчення продування вентиль на трубопроводі аргону необхідно закрити.

За продування металу аргоном під час випуску плавки несе відповідальність майстер печі.

Плавку вважати не продутою аргоном за відсутності бурління металу в районі над продувним пристроєм, а також якщо тривалість продування становить менше 7 хвилин.

У паспорті плавки відзначається наявність продування металу в ковші аргоном знизу через шибер, «продута аргоном».

Витримка металу в ковші від кінця випуску до початку розливання має бути не більше ніж 15 хвилин. Затримка плавок на стенді не допускається.

У паспорті плавки повинен фіксуватися час начала і кінця випуску, витрати коксика та окалини для інтенсифікації кипіння, тривалість продування аргоном.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА

4.1 Аналіз основних шкідливих та небезпечних факторів на пічному прольоті мартенівського цеху

Пічний проліт мартенівського цеху є ділянкою підвищеної небезпеки. Він насичений обладнанням та вантажопідйомними механізмами, що працюють в інтенсивному режимі. Рухливі склади рухаються в цеху через весь проліт залізничними коліями шихтового відкрилка, через в'їзди мульдової колії. Вони перетинаються з чавуновозними шляхами, що проходять через весь проліт із міксерного відділення до печей.

До шкідливих факторів, присутніх у пічному прольоті, належать:

пил, гази, шум, теплове та інфрачервоне випромінювання, вібрація, наявність шкідливих газів.

Електронебезпека. Небезпека ураження електричним струмом виникає при зіткненні людини з (заливальним або розливним краном, завалювальною машиною, заправною машиною, тощо) незаземленими струмопровідними частинами робочих установок. За ступенем електронебезпеки мартенівський цех належить до другого класу небезпеки за наявності високих температур. Вплив електричного струму на людину багато в чому залежить від ряду факторів: загальний стан людини, характер включення тіла людини в електричний ланцюг і багато іншого. Порогові значення сили струму (мА): 0,6-1,5 при змінному струмі 50-60 Гц - легке тремтіння пальців, 5-10 - судоми рук, 20-25 - параліч рук, утруднене дихання, сильні болі.

Невідповідні частини електроустаткування нормально не знаходяться під напругою. Це корпуси електроустаткування, оболонки кабелів.(заливальним або розливним краном, завалювальною машиною, заправною машиною, і т.д.). Вони можуть опинитися під напругою випадково внаслідок пошкодження ізоляції. Якщо робітник стосується незаземленого корпусу, який опинився під напругою, через людину проходить весь струм замикання на землю.

Небезпечні фактори характеризуються наявністю: рухомих тепловозів,

залізничних складів, автотранспорту, кранів і завалочних машин, вантажами, що переміщуються, наявність рідких продуктів (чавуну, сталі, шлаку), частин устаткування, що обертаються, небезпека ураження електричним струмом. [10]

Шум є хаотичним поєднанням звуків при роботі мартенівської печі, розливного крана та іншого обладнання. Надмірний шум шкідливо впливає на здоров'я працюючих, сприяє виникненню травматизму. Робота за умов підвищеного шуму протягом дня викликає стомлення слухових органів, тривалий вплив шуму призводить до втрати слуху. Допустимий рівень звукового тиску робочих місць при 1000Гц становить 80дБА.

Вібрація характеризується частотою, амплітудою, швидкістю та прискоренням. Джерелом вібрації у цеху є підйомно-транспортне обладнання. Спостерігається загальна вібрація, яка діє організм людини, з поверхні якої він перебуває. Довге перебування робітника під впливом вібрації викликає в нього вібраційну хворобу - неврит. Допустимі величини вібрації регламентуються спеціальним документом і повинні перевищувати 2/3 робочого дня за рівні віброшвидкості 92 дБ.

Запиленість виникає при завантаженні печі, її ремонті, під час плавлення та при випуску металу. Вплив пилу на людину може спричинити такі захворювання, як пневмоконіоз, емфізему легень.

Обслуговуючий персонал двованної печі, сталевар, підручні сталевара, робота яких, крім вищезгаданих шкідливих та небезпечних факторів, характеризується високими енергетичними витратами. Надмірна фізична навантаження викликає стомлення організму, тимчасово знижує працездатність. Крім того, втома послаблює опір організму шкідливим впливам на нього, заважає зосередитися і може спричинити нещасний випадок.

Таблиця 4.1 – Карта умов праці робочому місці сталевара

№ п/п	Фактори виробничої середовища та трудового процесу	Нормативне значення	Фактичне значення	3 клас: Небезпечні характерні шкідливі умови праці			Тривалість дії фактора за зміну, %
				1 ступінь	2 ступінь	3 ступінь	
1	Шкідливі хімічні речовини, мг/м^3 1 клас небезпеки - ангедрид хромовий - бензапілен - нікель, оксиди нікелю - оксиди марганцю, аерозоль конденсації 2 клас небезпеки - мідь 3-4 класи небезпеки - ангедрид сірчаний (SO2) - оксиди азоту (NO2) - діоксиди азоту - оксиди хрому	 0,01 0,00015 0,05 0,05 1 10 5 2 1	 0,059 0,000 2 0,15 0,27 2,2 28,5 35,5 7,4 5,7	 1,3 3,7	 3 2,2 2,85	 5,9 5,4 7,1 5,7	 94 94 94 94 94 94 94 94 94
2	Пил, переважно фіброгенної дії, мг/м^3 - кристалічний діоксид кремнію при вмісті в пилу від 2 до 10%	4	180,3			45,08	60
3	Вібрація загальна, дБ	92	97	5			
4	Шум, дБ	80	96			16	100
5	Мікроклімат у приміщенні: -температура повітря, °С - швидкість руху повітря, м/с - інфрачервоне випромінювання, Вт/м^2	 20 0,6 140	 41 0,47 5220	 0,13		 21 5220	 94 94 60
6	Тяжкість праці Динамічна робота - Потужність зовнішньої роботи, Вт Статичне навантаження - Величина навантаження за зміну, кг * с	 90 130000	 3,5 124140	 3,5 124140			 85
7	Робоча поза - перебування у похилому положенні понад 30о, 25% робочого часу - переміщення цехом, км/зміну	 25 10	 28,9 6	 28,9 6			
8	Напруженість праці - зір (категорія зорових робіт)	 7	 7				

4.2 Заходи щодо усунення шкідливих та небезпечних факторів у мартенівському цеху

Для запобігання травмуванню робітників відстань від підлоги робочого майданчика до нижньої частини рами завалочної машини встановлено не менше 600 мм, а від засіків із заправними матеріалами не менше 400 мм. Ходові колеса завалочної машини обгороджуються кожухом із зазором між рейками та кожухом не більше 10 мм. Завалочні машини обладнуються звуковою сигналізацією та гальмами миттєвої дії. Щоб уникнути вибухів, завантаження вологих матеріалів у розплавлену ванну не допускається. Для просушки руди та бокситу слід влаштовувати сушильні установки. З метою безпеки при подачі складу з чавуном ковшами вперед упорядник або зчіпник повинен знаходитися попереду складу. Швидкість руху складу повинна перевищувати 4 км/год. Уникаючи розбризкування чавуну при його зливі в піч, Зливний бочок розташовують нижче верхнього краю ковша на 100 –150 мм, а також очищають його від скрапу та своєчасно ремонтують.

Для створення безпечних та сприятливих умов праці ширину заднього майданчика печі приймають не менше 2,5 метри. Захист робочих від тепловипромінювання задньої стінки печі здійснюють теплоекранами, охолодженими водою. Застосовують знімні огородження. Пульти керування печами розташовують між колонами пічного прольоту проти печей та забезпечують провітрюванням. Для захисту від тепловипромінювання вікна пультів засклюють товстим склом, товщиною 10 –15 мм. Відбір проб металу з печі необхідно проводити сухою ложкою через при закритому вікні. Довжина ручки має бути не менше трьох метрів. Не допускається відбирання проби з печі під час кантовки газу. Перед взяттям проби, ложка просушується протягом 15 - 30 сек в смотрелке, потім шлаковується і після цього відбирається проба металу.

Перед відкриттям льотки сталевар повинен подати сигнал, що попереджає випуск плавки. Для запобігання вибухам і викидам металу футерування жолоба і ковшів ретельно просушують і прогрівають.

При виконанні робіт необхідно користуватися покладеним за формою

спецодягом. Приступаючи до роботи необхідно бути акуратно одягненим і взутим, спецодяг повинен бути застебнутий на всі гудзики. Сталевар, підручний сталевара – у сукняний одяг, вачаги, черевики, каску (штани поверх взуття, куртку поверх штанів, волосся прибрати під головний убір). Майстер – у сукняний одяг, рукавиці, черевики, каску. Залежно від роботи та місця роботи необхідно користуватися засобами індивідуального захисту – окуляри (сині від інфрачервоного випромінювання, білі від попадання пилу), біруші (від шуму), розпіратор-пелюстка, протигази (від пилу, шкідливих речовин), каска, вачаги (для захисту від контакту із нагрітими поверхнями).

Для захисту від впливу виробничого шуму в умовах сталеплавильного цеху застосовують протишумні вкладиші з матеріалу ФПП-Ш. Ці вкладки («Беруші») розраховані на користування протягом одного дня. Застосовують навушні протишуми (шумозахисні навушники) МІОП.

Захист від шуму та вібрації в цеху полягає у забезпеченні належної щільності повітроводів, газопроводів, арматури, кожухів печі та повітронагрівачів. Особливу роль ліквідації впливу шуму і вібрації грають автоматизація і механізація процесів.

Від електричного струму захищають гумові рукавички, гумовий килимок, вся металева поверхня цеху має бути заземлена.

Від тепла: в цеху на робочому місці сталевара потрібно зменшити опромінення, передбачивши теплозахисні водоохолоджувані екрани, які встановлюють біля стінок і склепінь печей, рам робочих вікон, у сталерозливних канав. Теплозахисний екран дозволяє локалізувати джерело променистої теплоти, зменшити опроміненість поверхонь оточуючих робоче місце

Теплозахисний екран дозволяє локалізувати джерело променистої теплоти, зменшити опроміненість на робочих місцях та знизити температуру поверхонь навколишніх робоче місце

Засоби індивідуального захисту

У тих випадках, коли безпека робіт не може бути забезпечена конструкцією обладнання та іншими заходами, застосовують індивідуальні

засоби захисту.

Ці засоби захисту поділяються на такі класи:

- Спеціальний одяг служить для запобігання тілу від бризок розплавленого металу та променистої енергії, добре захищають суконні тканини, а від теплових випромінювань також лляні тканини та бавовняні тканини з вогнестійким просоченням. Від ураження струмом добре оберігає прогумований одяг та діелектричні рукавички або рукавиці.
- Спеціальне взуття служить захисту ніг працівників від впливу небезпечних виробничих чинників. Спецвзуття виготовляють зі шкіри та шкірозамінників зі спеціальним сталевим носком, що витримує удар 20 кг для захисту стопи.
- Для захисту від електроструму застосовують спеціальні прогумовані боти.
- Захисні окуляри та щітки призначені для захисту очей та обличчя від впливу на них твердих частинок, бризок рідкого металу, ультрафіолетового та інфрачервоного випромінювання. У мартенівському цеху застосовують наголовний щиток зі світлофільтром або комбінацією безбарвного скла та світлофільтру.
- Захисні засоби органів дихання. Бувають двох груп: фільтруючі (протизапилеві розпіратори та протигази), та ізолюючі (шлангові розпіратори, пневмокостюми). У цеху застосовують безклапанні розпіратори марки ШБ та клапанні розпіратори типів КЗМ, РН-16, Ф-46 та інші, а також фільтруючі протигази.
- Захисні засоби органів слуху. Для запобігання шкідливій дії шуму застосовують спеціальні шумоізолюючі шоломи та антифони, що мають спеціальну конструкцію.
- Захисні засоби від електроструму: основні спец одяг, спец взуття, білі окуляри, які вказані в технологічній інструкції додаткові ізолюючі штанги використовують при проведенні робіт під напругою з роз'єднувачами високої напруги, та при застосуванні тимчасових заземлювачів; ізолюючі кліщі для включення запобіжника; діелектричні килимки із спеціальної гуми товщиною 3-

5 мм для установок до 1000 В та 7-8 мм понад 1000 ст.

Для роботи у печей видаються окуляри та при температурі до 1800°С використанням скла СС4.

Організаційні заходи

У системі заходів щодо запобігання нещасним випадкам одне з основних місць належить інструктажу та навчання працівників безпечним прийомам праці, виховання у кожного працівника та службовця свідомої дисципліни праці, чіткого та беззастережного виконання вимог правил та інструкцій з охорони праці.

Система підготовки з техніки безпеки та виробничої санітарії включає:

- вступний інструктаж;
- первинний інструктаж;
- Навчання на робочому місці;
- Повторний інструктаж;
- Позаплановий інструктаж;
- курсове навчання;
- Цільовий інструктаж.

Вступний інструктаж є першим етапом навчання безпечним прийомам праці. Він обов'язковий всім робітників, службовців, ІТП, студентів та учнів, що надходять на роботу, спрямованих для проходження виробничої практики, незалежно від стажу роботи, проходження навчання та інструктування в інших організаціях. Вступний інструктаж проводить інженер з охорони праці та інженер з пожежної безпеки в кабінеті охорони праці за програмою, затвердженою головним інженером комбінату.

При проведенні первинного інструктажу робочому місці робочих ознайомлюють з:

- загальними відомостями про технічний процес та обладнання на даній ділянці; улаштуванням машин, механізмів, приладів, небезпечними зонами обладнання, запобіжними пристроями та огородженнями, системами блокування та сигналізації;

- засобами індивідуального захисту на даному робочому місці та

правилами користування ними;

- правильною та безпечною організацією та утриманням робочого місця;

- безпечним прийомам у роботі, з докладними роз'ясненнями Вмісту інструкцій з безпеки праці;

- способами застосування наявних на ділянці засобів пожежогасіння та сигналізації, місця їх розташування;

- схемою безпечного пересування територією цеху.

Після закінчення терміну навчання робітники, студенти та учні повинні пройти перевірку знань з безпеки праці у комісії під головуванням начальника цеху або його заступника. Результати перевірки оформляються протоколом (ново надійшли у індивідуальній книжці з охорони труда).

Робітники та службовці, незалежно від стажу роботи та кваліфікації, не рідше ніж через три місяці проходять повторний інструктаж на робочому місці. Інструктаж проводить ІТП згідно з затвердженим графіком. Інструктаж проводиться у формі живої бесіди та підкріплюється докладним розбором конкретних прикладів порушень правил та інструкцій з охорони праці.

4.3 Протипожежна безпека у мартенівському цеху

За вибухопожежною небезпекою мартенівський цех відноситься до категорії Г, оскільки використовуються горючі речовини, матеріали в гарячому стані або розжареному, виділяється лише промениста енергія.

У цеху можливі випадки, коли рідкий метал чи шлак потрапляють на вологу підлогу, матеріали чи конструкції. Такі явища зазвичай супроводжуються вибухами з викидом рідкого металу або шлаку.

Мартенівський цех належить до будівель, які мають ступінь вогнестійкості частин будинків І.

Протипожежні профілактичні заходи

Для обмеження розповсюдження вогню використовують незгоряні матеріали.

Місце розташування пожежного депо – два кілометри від цеху.

Протипожежні перешкоди в цеху:

протипожежні стіни з межею вогнестійкості – 2,5 год;

протипожежні перекриття – 1,0 год;

протипожежні двері, вікна – 1,0 год.

Природна витяжна вентиляційна система із дефлекторами.

Встановлення вибухозахисного електроустаткування. Встановлює захищені світильники.

Встановлює автоматичні вимикачі, що не допускають перегріву електричних приладів.

Засоби гасіння пожеж: вогнегасники марок ОХП-10, ОУ-25, пісок,

сокири, лопати, ломи і т.д.

4.4 Розрахунок екрану мартенівської печі для захисту від теплового випромінювання робітників пічного прольоту

Пропонується встановити тепловідвідний екран на двованній печі для захисту робітників від теплового випромінювання. Він складається із короба, розділеного перегородкою на дві порожнини. Вода надходить у зовнішню порожнину, нагрівається на 5 – 6°С і перетікає через вікно в нижній частині перегородки в порожнину, що піддається опроміненню. У цій порожнині є лабіринтні ребра, внаслідок чого швидкість води зростає. При цьому збільшується коефіцієнт тепловіддачі від екрану до води і, отже, зростає поглинання тепла. Товщина екрану складає 50...120 мм в залежності від величини опроміненості, розміри екрану $1 \times 1{,}5 \times 2$ м [10].

Всі екрани можна розділити на теплопоглинальні, тепловідвідні та тепловідбивні залежно від принципу уловлювання та відведення тепла.

Пропонується використовувати тепловідбивні екрани. Екрани цього виду є порожнистими звареними плитами із сталевих листів товщиною 5мм і більше, в яких циркулює механічна вода і повітряно водяна суміш.

Для стін печі основна частка енергії випромінюється на ділянці спектру λ = 3,5 – 12 мкм. Шар води 20 мм поглинає випромінювання, починаючи з λ = 1,5

мкм. Площа перерізу зливної труби на 40% більше живильної. У разі перебоїв у подачі води плита екрану залишається заповненою, а відкритий злив забезпечує вихід пари, що утворюється.

Екрани встановлюють в зоні прорізів, що відкриваються, на відстані 500...600 мм від гарячої поверхні і на відстані 15...20 мм від поверхні без прорізів, внаслідок чого теплопередача конвекцією в робочу зону значно знижується. Теплопередавальне екранування поверхні печей повинне забезпечувати температуру зовнішньої поверхні екрана не вище 30…35 °С робочої зоні і 40…45 °С поза робочої зони.

Розрахунок тепловідвідного екрану для захисту від теплового випромінювання робітників у пічному прольоті біля бічної стінки печі температурою 180 °С. Стінка виконана з вогнетривкої цегли. Розмір одного екрана $1 \times 1{,}5$ м.

Матеріал екрану – оцинкована сталь.

Температура проточної води 18 °С.

Температуру екрану приймемо 35 °С.

Кількість тепла, переданого випромінюванням 1м^2 гарячої стінки у воді, Вт/м^2

$$qi = \varepsilon_{пр} \times C_0 \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right],$$

де $\varepsilon_{пр}$ - наведений ступінь чорноти;

C_0 – коефіцієнт випромінювання абсолютно чорного тіла, що дорівнює 5,67Вт/м^{2}К^4

Т – температура гарячої стінки, До (з урахуванням зростання її під час екранування на 30…40%),

$$T1 = 180 * 1{,}3 + 273 = 507\ ^\circ К$$

T_2 - температура стінки екрану, $T_2 = 306\ ^\circ К$.

$$\varepsilon_{np} = \frac{1}{1/\varepsilon_1 + 1/\varepsilon_2 - 1},$$

де ε_1 і ε_2 - ступінь чорноти відповідно гарячої стінки та сталевого листа

екрану, $\varepsilon_1 = 0{,}85$, $\varepsilon_2 = 0{,}276$

$$\varepsilon_{пр} = \frac{1}{1/0{,}85 + 1/0{,}276 - 1} = 0{,}262$$

$$q^{и} = 5{,}67 \times 0{,}262 \times \left[\left(\frac{507}{100}\right)^4 - \left(\frac{306}{100}\right)^4\right] = 851\,\text{Вт/м}^2$$

$$q^{и} = 851 \times 0{,}001 \times 3600 \times \frac{1}{4{,}186} = 732\,\text{ккал/м}^2\text{ч}.$$

Необхідна кількість води на екран, кг/г:

$$G = \frac{aq_{и}f}{C(t_{ух} \times t_{п})},$$

де а – коефіцієнт поглинання інфрачервоних променів матеріалів екрану та водою, а=0,9

$q^{и}$ - кількість тепла передана з 1м^2 гарячої стінки до води, ккал/м^{2}ч

f - площа екрану, м^2, $f = 1 \times 1{,}5 = 1{,}5\,\text{м}^2$

$t^{ух}$ - температура води, що йде (не більше 35°C), приймаємо $t^{ух} = 33^{\circ}$C

$t^{п}$ - температура виробничої води, приймаємо $t^{п} = 18^{\circ}$C;

тобто:

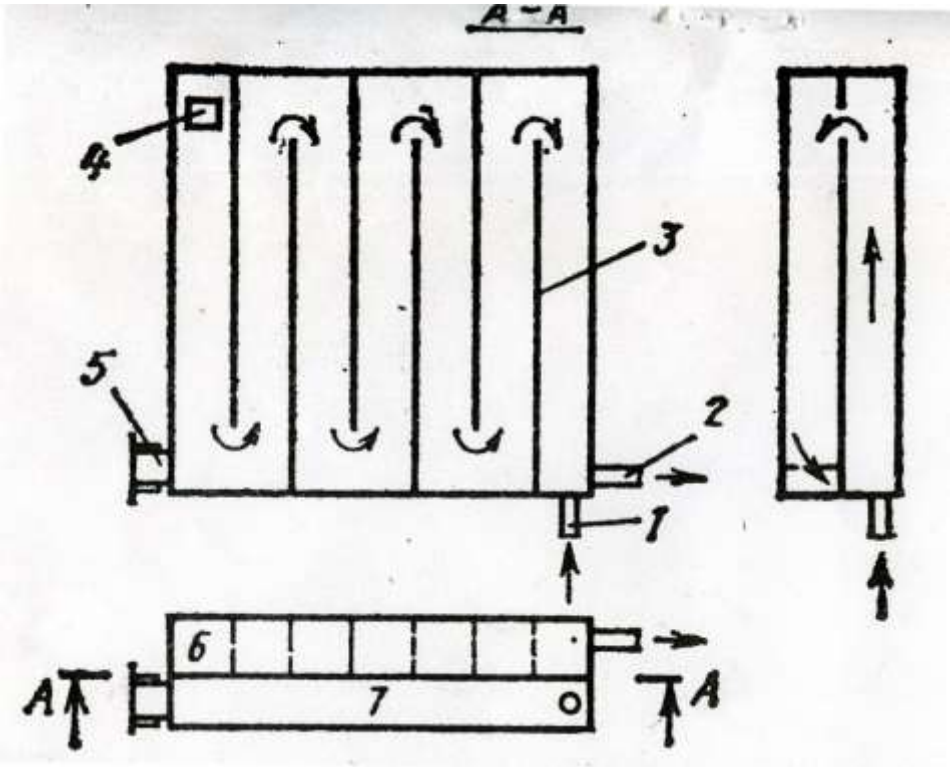
$$G = \frac{0{,}9 \times 732 \times 1{,}5}{0{,}98 \times (33 - 18)} = 67\,\text{кг/год}.$$

Тепловідвідний екран вимагає постійного догляду: періодичного чищення коробів від мулу, що накопичився, і постійного спостереження за напором води.

За проведеним вище аналізом видно, що найбільш небезпечним та шкідливим фактором виробничого середовища у мартенівському цеху є надлишкове тепло. Таким чином, мартенівський цех відноситься до гарячих цехів.

Через війну постійного руху повітря у приміщенні відбувається його нагрівання у місці знаходження джерел тепла, а й у більш віддалених ділянках.

Робочі мартенівського цеху, зокрема сталевари, зазнають впливу інфрачервоного опромінення інтенсивністю 1,05...3,5 кВт/м^2. Це перевищує ПДК; отже, необхідно захищати робочі місця від впливу зайвого тепла.



1 – підведення води; 2 – стік води; 3 – перегородки; 4 – переливне вікно; 5 - труба з водою для промивання екрану; 6 – порожнина з перегородками; 7 – порожнина без перегородок

Рисунок 4.1 – Водоохолоджуваний екран для радіаційного охолодження та захисту від теплового опромінення робочих місць

Для захисту працюючих та покращень умов праці застосовують такі заходи: теплоізоляцію поверхонь, що випромінюють тепло, за допомогою водоохолоджуваних екранів, рам, щитів, завіс та ін; природну та механічну вентиляцію; водорозпилювання на робочих місцях; повітряне душування; спецодяг; раціональну організацію режиму праці та відпочинку; будову спеціальних місць та кімнат відпочинку.

ВИСНОВКИ

1. Спосіб продування металу аргоном через шиберні затвори дуже простий в обігу і доступний кожному сталеплавильному цеху, до того ж не потребує великих капітальних витрат.

2. Продування металу аргоном через шиберні затвори сприяє вирівнюванню хімічного складу обсягом ковша.

3. Відхилення по марганцю та кремнію на плавках з продувкою аргоном, що перевищують ± 0.10% у 3 рази менше, ніж на звичайних плавках.

4. Відхилення між пробами вуглецю не перевищують допустимих меж відхилення.

5. На плавках з продувкою аргоном сталі типу 09Г2 кількість злитків переведених у сталь 0 через невідповідність марганцю і кремнію вимогам ГОСТу майже в 2 рази менше, ніж на звичайних плавках.

6. Продуванням металу аргоном повністю усувається градієнт температур в обсязі ковша.

7. Застосування аргону для продування металу дозволяє поліпшити розлив сталі, особливо низьковуглецевої спокійної сталі типу 09Г2. Час розливання скорочується більш як на 5 хвилин.

8. На плавках з продуванням аргоном збільшується чад кремнію від 1.5 од 5 %, чад марганцю знижується на 2.0%.

9. Мікродослідження злитків плавок з продуванням аргоном показало, що метал на всіх горизонтах зливка щільний. Зменшилася центральна пористість та точкова неоднорідність. Ліквація вуглецю відсутня.

10. Спостерігається забрудненість сульфідами та пластинчастими силікатами.

11. Механічні властивості металу відповідають вимогам ДСТУ. У поперечному та поздовжньому напрямку відрізняються незначно. Спостерігається тенденція до підвищення пластичних властивостей.

12. Застосування аргону для продування металу спокійних низьковуглецевих сталей дозволило за рахунок зниження браку злитків за

хімічним складом та браку в обтискному цеху по полонам, рванінам, тріщинам отримати економію металу та забезпечити економічний ефект.

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 669.18:661.939

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

Костюк Сергій Сергійович
здобувач вищої освіти першого освітнього рівня, 4 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

ТЕХНОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ОБРОБКИ МЕТАЛУ ІНЕРТНИМИ ГАЗАМИ В ПЕЧІ ТА В КОВШІ

Актуальність. Продукція металургійного комплексу України займає зараз провідне місце в структурі експорту. Однак, ринки індустріальних країн, що використовують значні кількості імпортованого металу, для сталі Україні практично недоступні через її низьку якість. Причина в тому, що використання у кінцевого споживача більш дорогої, але високоякісної сталі, забезпечує економію 20–25 % металу.

Одним з найбільш перспективних напрямків підвищення якості сталі Україні, особливо мартенівської, є її позапічна обробка. На відміну від інших заходів, що вимагають значних капітальних вкладень, позапічна обробка сталі, особливо комплексна, може забезпечити докорінне підвищення якості металопродукції без істотних капітальних, матеріальних та енергетичних витрат.

Теорія і практика сталеваріння свідчить, що найбільш перспективні в забезпеченні стабільності механічних властивостей і підвищення якості металопрокату позапічна обробка сталі інертними газами.

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

Мета. Забезпечення стабільності механічних властивостей і підвищення якості металопрокату за рахунок продувки металу інертними газами.

Основний текст. Узагальнення досвіду розміщення та експлуатації установок для продувки сталі інертними газами в ковші показує, що вибір оптимального рішення в мартенівських цехах вельми обмежений.

У більшості випадків у мартенівських цехах застосовуються прості по конструкції і недорогі установки для продувки сталі інертними газами, призначені для перемішування сталі з метою вирівнювання хімічного складу і температури в об'ємі сталерозливного ковша, підвищення ефективності рафінування сталі шлакоутворюючими сумішами або порошкоподібними реагентами, рідше для охолодження сталі до заданої температури і коригування хімічного складу.

Можна виділити три варіанти технічних прийомів і конструкцій продувних пристроїв, що використовуються в мартенівських цехах:

– варіант з введенням інертного газу через пористі елементи (блоки), встановлені в днищі або стінці ковша;

– продування через неохолоджувану футеровану фурму, що занурюється;

– продування через шиберний затвор.

У мартенівських і електросталеплавильних цехах, де позапічна обробка сталі ведеться в сталерозливних ковшах невеликої ємності, найчастіше використовується пристрій з підведенням інертного газу через пористі елементи.

Найбільшого поширення в якості пористих елементів отримали пористі вставки, вставки з направленими каналами і кладка ковшової цегли з пористими швами.

Основною характеристикою продувного пристрої – пористої вставки є газопроникність вогнетривкого матеріалу. З одного боку, вона повинна забезпечувати високу інтенсивність подачі газу, з іншого, навіть при відсутності тиску – виключати проникнення сталі або шлаку в пори вставки. Досвід експлуатації пористих вставок показав, що обидві вимоги реалізуються при діаметрі пір 0,6–1,0 мм. Ці значення визначаються феростатичним тиском стовпа металу в ковші, температурою металу і кутом змочування між металом і вогнетривом пористої вставки.

Продувальний пристрій монтується в днищі ковша і складається з двох основних елементів: пористої вставки і гніздової цегли. Пориста вставка має металеву оболонку. Інертний газ підводять по патрубку. Гніздова цегла і пориста вставка виступає над рівнем днища ковша, що охороняє утворення настилу на поверхні вставки після розливання. Весь пристрій кріпиться до зовнішньої частини днища ковша. Пористі вставки

розташовуються в зоні, відступаючої від стінки ковша на 1/3–1/2 радіусу зі зміщенням на кут 90° щодо осі каналу для випуску сталі.

Пористі вставки виготовляють із стійких високоглиноземистих та основних вогнетривів.

Крім складу вогнетривкого матеріалу, велике значення для експлуатаційних характеристик вставки має вигляд її пористості. Відповідно до технології виготовлення вставок вогнетрив виготовляється з неорієнтованою і орієнтованою (спрямованої) пористістю.

Для технології виготовлення вогнетриву з неорієнтованою пористістю характерне використання грубозернистого матеріалу, порівняно низький тиск пресування, додавання пороутворюючих матеріалів. Подачу газу в метал з мінімальними втратами тиску забезпечують вставки з направленою пористістю: у тілі вогнетриву канали для проходження газу орієнтовані вертикально. Вставки цього типу також мають високу міцність, шлакостійкість і стійкість від розмивання, що пояснюється більш високою щільністю вогнетриву і наближенням його властивостей і складу до футеровці сталерозливного ковша.

Знос вогнетривкого матеріалу пористих вставок пов'язаний з механічним і хімічним впливом. У першому випадку вставка розмивається сталлю під час заповнення ковша при випуску і розливанні. У другому випадку вогнетривкі властивості знижуються в результаті контакту вставки зі сталлю, шлаком, розкислювачами і шлакоутворюючими добавками.

Стійкість пористої вставки становить 3–6 плавок.

Основні розміри вставок наведені нижче.

Тип вставки	Діаметр перерізу вставки, мм верхнього	нижнього	Висота вставки, мм
1	130	160	300
2	160	240	260
3	300	300	220

Значно рідше використовують вогнетривкі вставки зі спрямованими каналами. Вставку з направленими каналами виготовляють з шамоту. Інертний газ в ній проходить через вгвинчений патрубок, потім через порожнину і спрямовані канали. Діаметр каналів складає 1–2 мм, їх кількість може бути різною, розташовані вони по концентричній окружності. Вставка з спрямованими каналами при відсутності в патрубку відсічного клапана може бути разової дії, а з відсічним клапаном – багаторазової дії. Операція установки, кріплення і зміни вставок зі спрямованими каналами аналогічна установці в ковші сталерозливного стакану.

Спочатку для продувки металу інертними газами були використані багатоканальні фурми. Однак вони не знайшли широкого застосування із-за незручності в експлуатації, складності виготовлення і низькою стійкості.

Більш прийнятним в умовах великомасштабного виробництва варіантом обробки сталі в ковші сталерозливному інертними газами є технологія продування металу в ковші інертним газом зверху через занурювані фурми, які на кінці можуть забезпечуватися пористими блоками або просто представляють собою футеровану трубу з вогнетривкими котушками і відкритим центральним каналом.

У більшості випадків це футеровані вогнетривкими котушками сталеві труби з зовнішнім діаметром 43–57 мм і товщиною стінки 10–12 мм. Діаметр циліндричного каналу для виходу газу може бути від 8 до 35 мм.

З метою більшого диспергування струменя газу в рідкому металі вихідні канали занурюваної фурми можуть бути конічними або щілинними (ширина щілини 1–2 мм) з серповидним перетином по периметру фурми. У цьому випадку далекобійність струменя в рідкому металі збільшується. Через малу стійкості струменя вона розпадається на більш дрібні бульбашки газу в більшому обсязі металу.

Для футеровки фурм використовують алюмосилікатні або високоглиноземисті матеріали, що містять більше 75 % глинозему.

У комплект установки входить: занурювана фурма, що складається з порожнього металевого стержня, футерованої шамотними трубками, механізм підйому і опускання фурми,піч для сушіння та зберігання занурюваних фурм і ін

Метал продувають аргоном або азотом, який надходить у фурму під тиском 0,2–0,4 МПа. При цьому забезпечується їх витрата від 20 до 120 м³/год, а в окремих випадках до 200 м³/год. Найчастіше витрата інертного газу знаходиться в межах 40–80 м^3/год. У кожному конкретному випадку критерієм витрати інертного газу є поведінка сталі в ковші: не повинно бути надмірного галасу, бризок і т. д. Тривалість продувки залежить від поставленого завдання і коливається від 3 до 16 хв.

На результати обробки сталі інертними газами значний вплив надає глибина занурення фурми і її положення щодо осі ковша.

Глибина занурення фурми на ковшах різної ємності складає 2,7–4,5 м. При цьому відстань від торця фурми до днища ковша повинно знаходитися в межах 200–1200 мм. Збільшення глибини занурення фурми забезпечує більш ефективне усереднення температури і підвищення хімічної неоднорідності сталі. Однак при цьому, особливо при відсутності контролю за глибиною занурення фурми, підвищується локальний знос футеровки ковша в навколофурменій зоні.

Зсув фурми від стінки ковша на 1/3–1/2 його радіуса зменшує тривалість вирівнювання хімічного складу і температури металу.

Серед інших способів розташування занурюваних фурм слід відзначити їх установку під кутом до вертикальної осі. Похила продування за інших однакових умовах забезпечує більшу ступінь

диспергування газового потоку, що рівноцінно підвищенню інтенсивності перемішування.

Одним з найважливіших показників ефективності використання занурюваних фурм є їх стійкість. Середня стійкість занурюваної фурми становить 6–12 обробок. Основним чинником, що визначає тривалість служби занурюваних фурм, є стійкість їх вогнетривкої футеровки. Найбільш інтенсивно занурювана фурма зношується в зоні шлакового пояса, висота якого становить 300–500 мм. Тривалість служби занурюваних фурм можна збільшити, використовуючи для футеровки в шлакової зоні цирконієві вогнетриви.

У великих мартенівських цехах застосування даного варіанту продувки вимагає істотних капітальних вкладень для обладнання всіх сталеплавильних агрегатів припічними установками з навісними занурюваними фурмами. Крім того, ці установки складні в експлуатації, а процес технологічно недосконалий через труднощі відсічення кінцевого шлаку при випуску плавок з подових агрегатів.

Продування з використанням припічних установок здійснюють під час випуску металу в ківш або після випуску плавки. Для зменшення негативного впливу печного шлаку, що потрапляє в ківш, продувку з метою вирівнювання хімічного складу і температури металу рекомендується закінчувати до появи шлаку або проводити після сходження печного шлаку і нейтралізації його присадкою в ківш вапна або доломіту. Продування під час сходу печного шлаку не допускається, так як вона може призвести до рефосфорації і підвищеному чадові вводяться в ківш легуючих елементів і розкислювачів.

ДПІ спільно з Макіївським металургійним комбінатом розроблено метод обробки сталі в ковші сталерозливному інертними газами з підведенням газу через спеціальну фурму, встановлену в розливному каналі шиберного затвора. Фурма у вигляді порожнистої штанги, що проходить через колектор, вогнетривкі плити і розливний стакан, обладналася у верхній частині вогнетривкої пробкою з отворами, а внизу – газопідвідною трубкою. Верхня частина штанги, що розташовується в каналі розливного стакану, виконувалася масивної з невеликим лабіринтовим каналом для газу, що запобігало прохід газу по каналу штанги при припиненні подачі газу. У зоні контакту рухомою і нерухомою вогнетривких плит на штанзі була передбачена проточка, яка послаблює перетин штанги і дозволяє перерізати її при закритті шиберного затвора.

Продування металу у ковші інертним газом через шиберний затвор, на відміну від продування через занурену фурму, не вимагає спорудження спеціальних установок, а пристрої, які при цьому використовуються, прості і надійні в експлуатації.

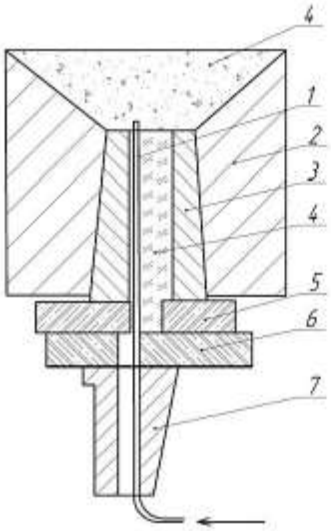


РИС054
Рис. 1. Схема продувки металу в ковші через шиберний затвор:
1 – трубка; 2 – гніздо ковша;
3 – склянка; 4 – підсипка;
5 – верхня плита затвора;
6 – нижня плита затвора;
7 – колектор

Типова схема сучасного пристосування показана на рисунку 1. Продувну трубку у вигляді зігнутої кисневої трубки встановлюють в отвір сталерозливного стакану і шиберного затвора, фіксуючи її між рухомою і нерухомою плитами затвора.

Продування інертним газом виконують протягом 10–20 хв з моменту початку випуску металу і завершують при появі шлаку на жолобі мартенівської печі. На початку продувки витрату газу встановлюють на рівні 0,5–1,0 м³/хв і поступово (у міру наповнення ковша) збільшують до 2–3 м³/хв. Тиск дуття зазвичай становить 0,4–0,5 МПа. Витрату газу підтримують такою, щоб кипіння металу в ковші було рівномірним. Звичайна витрата газу при обробці металу в великовантажних ковшах не перевищує 0,1 м³/т. Перед появою шлаку рухома плита затвора при переміщенні розрізає газопідвідну трубку і подача інертного газу в ківш припиняється.

Висновки. Простота, надійність і технологічність використання цього способу у великомасштабному мартенівському виробництві роблять його найбільш кращим при розробці методів комплексної обробки сталі в ковші.

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.