

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ
ім. Ю.М. ПОТЕБНІ

Кафедра литейної
(повна назва кафедри)

Кваліфікаційна робота (проект)

перший (бакалаврський) рівень
(рівень вищої освіти)

на тему *Освідливості технології виробництва*
інструментальної сталі

Виконав: студент *3с* курсу, групи *1309-мкм-с*
спеціальності *136-Металурія*

(код і назва спеціальності)

освітньої програми *Металурія*

(код і назва освітньої програми)

спеціалізації

(код і назва спеціалізації)

І.В. ВІННИК

(ініціали та прізвище)

Керівник *кадр. техн. наук, доцент Вороннікова О.С.*

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Рецензент *кадр. техн. наук, доцент Берасно О.Р.*

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Запоріжжя
2022

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ІМ. Ю.М. ПОТЕБНИ

Кафедра Метаурія

Рівень вищої освіти перший (бакалаврський) рівень
(перший (бакалаврський) рівень, другий (магістерський) рівень)

Спеціальність 136 - Метаурія
(шифр і назва)

Спеціалізація _____
(шифр і назва)

Освітня програма Метаурія
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри Метаурія
Кириченко О.Г.

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ (ПРОЄКТ) СТУДЕНТОВІ (СТУДЕНТЦІ)

Віннику Горю Гордовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи (проєкту) Особливості технології виробництва інструментальної штампової сталі

керівник роботи канц. техн. наук, доцент Воронікова Ольга Сергіївна
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом ЗНУ від "17" жовтня 2022 року № 90-с

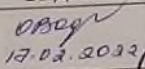

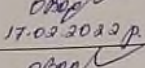

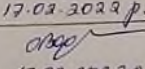

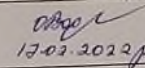

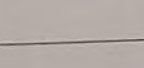

2. Строк подання студентом роботи 18.06.2023р.

3. Вихідні дані до роботи Науково-технічна література, статті у фахових виданнях категорії "Б", матеріали конференцій, а також інше.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити), скорочення та умовні позначки. Вступ. Загальна характеристика та властивості сталі марки ХНМФ. Огляд літератури випавки інструментальної сталі. Конструктивні особливості технології випавки сталі марки ХНМФ. Розмірковий вплив інструментів на розподілення літної структури сталі ХНМФ. Загальні висновки. Перелік джерел пошуку.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
Титульний лист - 1. Вступ - 1. Розділ 1 - 2. Розділ 2 - 0. Розділ 3 - 4. Розділ 4 - 1. Розділ 5 - 1. Загальні висновки - 1.

6. Консультанти розділів роботи

| Розділ | Прізвище, ініціали та посада консультанта | Підпис, дата | |
|--|---|--|--|
| | | завдання видав | завдання прийняв |
| 1. Загальна характеристика та властивості сталі марки Х12МФ. | доцент О.С. Вороннікова |  17.02.2022 р. |  17.02.2022 р. |
| 2. Огляд методів вилавки інструментальних сталей. | доцент О.С. Вороннікова |  17.02.2022 р. |  17.02.2022 р. |
| 3. Конструкція металургійних агрегатів для вилавки розливних та одрочки інструментальних сталей. | доцент О.С. Вороннікова |  17.02.2022 р. |  17.02.2022 р. |
| 4. Особливості технології вилавки сталі марки Х12МФ. | доцент О.С. Вороннікова |  17.02.2022 р. |  17.02.2022 р. |
| 5. Розширення впливу інструменту на розливи інструментальних сталей Х12МФ. | доцент О.С. Вороннікова |  17.02.2022 р. |  17.02.2022 р. |

7. Дата видачі завдання 19.02.2022 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

| № з/п | Назва етапів кваліфікаційної роботи магістра | Строк виконання етапів роботи | Примітка |
|-------|--|-------------------------------|----------|
| 1. | Скорочення та умовні познач. Вступ. | 2.06.22 - 3.05.22 | |
| 2. | Розділ 1. | 4.05.22 - 12.05.22 | |
| 3. | Розділ 2. | 13.05.22 - 20.05.22 | |
| 4. | Розділ 3. | 21.05.22 - 25.05.22 | |
| 5. | Розділ 4. | 26.05.22 - 2.06.22 | |
| 6. | Розділ 5. | 3.06.22 - 12.06.22 | |
| 7. | Загальні висновки. Перейк розкриття посилання. | 13.06.22 - 15.06.22 | |
| 8. | Фродіжна частинка | 16.06.22 - 17.06.22 | |

Студент _____


(підпис)

Г.Г. Зінник
(ініціали та прізвище)

Керівник роботи (проекту) _____


(підпис)

О.С. Вороннікова
(ініціали та прізвище)

Нормоконтроль пройдено

Нормоконтролер _____


(підпис)

О.Г. Кириченко
(ініціали та прізвище)

РЕФЕРАТ

Розрахунково-пояснювальна записка: 73 с., 33 рис., 9 табл., 42 джерела посилання.

ІНСТРУМЕНТАЛЬНА ШТАМПОВА СТАЛЬ, ДУГОВА
СТАЛЕПЛАВИЛЬНА ПІЧ, ТЕХНОЛОГІЯ ВИПЛАВКИ СТАЛІ,
ІНОКУЛЯТОРИ, СТРУКТУРА СТАЛІ

Тема кваліфікаційної роботи бакалавра: Особливості технології виробництва інструментальної штампової сталі.

Мета роботи – розробити технологію виплавки сталі марки Х12МФ.

У розділі 1 надано характеристику інструментальної сталі марки Х12МФ, приведено її фізико-механічні властивості та вплив на них легуючих елементів.

У розділі 2 приведено аналіз методів виплавки інструментальних сталей.

У розділі 3 описано конструкцію металургійних агрегатів для виплавки, розливу та обробки інструментальних сталей.

У розділі 4 приведено апаратурно-технологічну схему виробництва інструментальної сталі марки Х12МФ та описано її технологію виплавки з повним окисленням в ДСП-50.

У розділі 5 приведено дослідження впливу інокуляторів на розпорощення литої структури сталі Х12МФ.

Розроблена технологія виплавки інструментальної штампової сталі марки Х12МФ рекомендується для дослідно-промислових випробувань в умовах електросталеплавильних цехів металургійних підприємств України.

ЗМІСТ

| | |
|---|----|
| СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ..... | 6 |
| ВСТУП..... | 7 |
| 1 ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ТА ВЛАСТИВОСТІ СТАЛІ МАРКИ Х12МФ..... | 11 |
| 1.1 Характеристика інструментальних сталей та основні вимоги до них.... | 11 |
| 1.2 Призначення, галузь застосування та фізико-механічні властивості сталі Х12МФ | 15 |
| 1.3 Вплив легуючих елементів на властивості сталі марки Х12МФ | 20 |
| 2 ОГЛЯД МЕТОДІВ ВИПЛАВКИ ІНСТРУМЕНТАЛЬНИХ СТАЛЕЙ..... | 25 |
| 2.1 Виплавка сталі з повним окисленням..... | 25 |
| 2.2 Виплавка методом електрошлакового переплаву | 26 |
| 2.3 Виплавка методом вакуумно-дугового переплаву..... | 26 |
| 2.4 Виплавка методом одношлакового процесу..... | 27 |
| 3 КОНСТРУКЦІЯ МЕТАЛУРГІЙНИХ АГРЕГАТІВ ДЛЯ ВИПЛАВКИ, РОЗЛИВКИ ТА ОБРОБКИ ІНСТРУМЕНТАЛЬНИХ СТАЛЕЙ..... | 29 |
| 3.1 Конструкцій дугової сталеплавильної печі..... | 29 |
| 3.2 Конструкція машини безперервного лиття заготовок..... | 36 |
| 3.3 Конструкція установок позапічної обробки сталі..... | 43 |
| 4 ОСОБЛИВОСТІ ТЕХНОЛОГІЇ ВИПЛАВКИ СТАЛІ МАРКИ Х12МФ... | 49 |
| 4.1 Технологічна схема виробництва інструментальної сталі марки Х12МФ | 49 |
| 4.2 Розробка технології виплавки сталі Х12МФ..... | 53 |
| 5 ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ІНОКУЛЯТОРІВ НА РОЗПОРОШЕННЯ ЛИТОЇ СТРУКТУРИ СТАЛІ Х12МФ..... | 59 |
| 5.1 Напрямки поліпшення структури та властивостей електрошлакового зливка..... | 59 |
| 5.2 Дослідженні структури зливка діаметром 300 мм сталі Х12МФ-Ш, виплавленого з введенням інокуляторів в процесі ЕШП..... | 60 |
| ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ..... | 68 |
| ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ..... | 69 |

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ

X12MФ – інструментальна штампова сталь, що містить від 1,45 % до 1,65 % вуглецю, від 0,1 % до 0,4 % кремнію, від 0,15 % до 0,45 % марганцю, до 0,9 % нікелю, до 0,2 % вольфраму, від 0,15 % до 0,3 % ванадію, від 0,4 % до 0,6% молібдену, до 0,03 % сірки та фосфору, від 11,0 % до 12,5% хрому, до 0,3% міді;

ЕШП – електрошлаковий переплав;

T – температура, град. ($^{\circ}\text{C}$);

R – питомий опір, Ом·м;

ρ – щільність матеріалу, кг/м³;

α – коефіцієнт температурного (лінійного) розширення, 1/град;

σ_b – тимчасовий опір розриву (межа міцності при стисканні), МПа;

δ_5 – відносне подовження після розриву, %;

Ψ – відносне звуження, %;

HRC – твердість за методом Роквел ла;

KCU – ударна в'язкість, визначена на зразку з концентратором U, кДж/м²;

ВДП – вакуумно-дуговий переплав;

ДСП – дугова сталеплавильні піч;

МБЛЗ – машина безперервного лиття заготовок;

УПК – установка піч-ківш;

Н-4 – нікель первинний з вмістом нікель+кобальт більше 97,6%;

ФMn90 – феромарганець з вмістом марганцю від 85% до 95%;

ФС65 – феросиліцій з вмістом кремнію 65%;

X97,5 – хром металевий з вмістом хрому більше 97,5%;

ТМШ – тверді шлакоутворюючі матеріали;

ПАТ – публічне акціонерне товариство;

АНФ-6 – плавлений флюс на основі CaF_2 та вмістом Al_2O_3 від 25% до 31%.

ВСТУП

На сьогодні підприємства чорної металургії виробляють чавун, сталь і прокат, використовуючи як основну сировину залізні руди, а як паливо – високоякісне вугілля [1].

Металургійна галузь України є стратегічною складовою національного виробництва, від якого значною мірою залежить стан соціально-економічного розвитку країни. Крім того, вихід України з кризових ситуацій майже завжди був пов'язаний з певним пожвавленням внутрішнього ринку металопродукції та підвищенням попиту на світовому ринку. Проте за наявних умов у найближчій перспективі навряд чи можна очікувати від неї будь-яких зрушень у бік довгострокових темпів економічного зростання. Такий стан речей наводить на думку про те, що сьогодні металургійна галузь України потребує чіткої, зрозумілої та дієвої державної політики стосовно перспектив її економічного розвитку, від якого залежатиме довгострокове економічне зростання не лише в галузі, але й в країні загалом [2].

Розглядаючи чорну металургію України, слід зазначити, що вона має недосконалу галузеву і технологічну структуру, також спостерігається стійке старіння основних виробничих фондів, низька ефективність використання паливно-енергетичних ресурсів, ускладнення економічної обстановки у великих промислових центрах. Галузь потребує проведення корінної модернізації та технологічної перебудови виробництва, поліпшення якості металопродукції [3, 4].

У найближчій перспективі розвиток металургійної галузі в Україні відбуватиметься під впливом дії наступних світових тенденцій [4]:

- уповільнення зростання світової економіки, яке прогнозується міжнародними організаціями, що вплине на скорочення попиту і відповідне зниження світових цін на металопродукцію;

- введення за кордоном нових виробничих потужностей виплавки сталі. Основні країни-покупці металу починають створювати власні виробництва,

знижуючи закупівлі металу за кордоном;

– зростання конкуренції серед виробників залізорудної сировини. Наприклад, Китай на 45 % забезпечує внутрішні потреби у залізорудній сировині. На цьому фоні попит на сировину для металургії буде знижуватися, спричиняючи зниження ціни на металопродукцію.

Основними завданнями Державної програми модернізації та розвитку металургійної галузі мають стати [2]:

– оптимізація металургійних потужностей до оптимально прийнятних меж з урахуванням максимально можливого розширення внутрішнього ринку. Реалізація цього завдання має відбуватися насамперед на основі виведення з експлуатації застарілих мартенівських та інших надлишкових потужностей з урахуванням тенденцій та сучасної структури металургійного виробництва у провідних країнах-виробниках;

– розробка та реалізація інноваційної моделі розвитку галузі шляхом створення та впровадження у виробництво принципово нових наукоємних та ефективних технологій, а також ресурсозберігаючих екологічно чистих технологій світового рівня;

– розвиток ринків збуту металопродукції;

– удосконалення державної політики щодо розвитку металургійної галузі. Першочерговим завданням має стати переорієнтація державної промислової політики у галузі на заходи стратегічного значення. Нова стратегія розвитку галузі повинна формуватися на пріоритетах концепції неоіндустріалізації національної економіки;

– фінансове забезпечення. Основою інвестиції для модернізації металургійної галузі мають стати насамперед акумульовані кошти металургійних підприємств, одержані від реалізації продукції як на внутрішньому, так і на зовнішньому ринках.

На сьогодні актуальними завданнями в сталеплавильному виробництві, зокрема інструментальному виробництві є значне підвищення технічного рівня та поліпшення якості інструменту, що виготовляється, та забезпечення більш

повного задоволення потреб в ньому машинобудування, металообробки та інших галузей народного господарства [5].

Мета роботи – розробити технологію виплавки сталі марки X12MФ.

Для вирішення поставленої мети треба вирішити **наступні завдання**:

- проаналізувати сучасні методи виплавки інструментальних сталей;
- запропонувати технологічну схему виробництва інструментальної сталі марки X12MФ;
- привести технологію виплавки сталі марки X12MФ з повним окисленням в ДСП-50;
- дослідити вплив інокуляторів на розпорощення литої структури сталі X12MФ.

Об'єкт дослідження: структура сталі марки X12MФ, процес введення інокуляторів в процесі ЕШП при виплавці сталі X12MФ.

Предмет дослідження: технологія виплавки сталі марки X12MФ; вплив інокуляторів на розпорощення литої структури сталі X12MФ.

Методи дослідження. У роботі застосовувалися загальнонаукові методи дослідження – емпіричні (експеримент, спостереження, опис) та теоретичні (аналіз, синтез, узагальнення та інше). При дослідженні впливу інокуляторів на розпорощення литої структури сталі X12MФ введення гранул інокуляторів в металеву ванну виконували в процесі ЕШП дозатором «Доза-4». Інокулятори представляли собою ізоморфні гранули сталі X12MФ діаметром від 0,8 мм до 1,2 мм, виготовлені розпиленням розплаву азотом за технологією цеху порошкової металургії ПАТ «Дніпроспецсталь». вихідний метал для ЕШП сталі X12MФ виплавляли в 50-тонних електродугових печах з обробкою на УПК та розливкою в зливки вагою вилівка 1, 0 т. В процесі ЕШП виконали п'ять варіантів введення інокуляторів за розрахунком від масової швидкості сплаву електрода: 0 % (стандартна технологія), 10 %, 20 %, 30 % та 50 %. Оцінку зміни параметрів сітки евтектичних карбідів проводили з використанням комп'ютерної металографії – програмно-апаратного комплексу «Відеотест-Метал» на базі оптичного мікроскопа «ZEISS Axiovert 200MAT»

при 50-кратному збільшенні. Хімічний склад визначали спектральним методом.

Наукова новизна:

1. Запропоновано техніко-економічно обґрунтовану технологічну схему виробництва інструментальної штампової сталі марки Х12МФ з наступною термічною обробкою.

Практичне значення:

1. Розроблена технологія виплавки інструментальної штампової сталі марки Х12МФ рекомендується для дослідно-промислових випробувань в умовах електросталеплавильних цехів металургійних підприємств України.

1 ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ТА ВЛАСТИВОСТІ СТАЛІ МАРКИ Х12МФ

1.1 Характеристика інструментальних сталей та основні вимоги до них

Інструментальна сталь являє собою сплав, вміст вуглецю в якому становить не менше 0,7%. Її структура при цьому може бути доевтектоїдною, ледебуритною або заевтектоїдною. Інструментальні сталі з різною структурою відрізняються наявністю вторинних карбідів. У сплавах з доевтектоїдною структурою вторинних карбідів немає. Тим часом, в кожній з таких структур карбіди в обов'язковому порядку присутні: вони утворюються при евтектоїдних модифікаціях або є результатом розпаду мартенситу [6].

Всі марки сталей для виробництва інструментів поділяють на 5 основних груп [6]:

- теплостійкі та в'язкі;
- високотверді та в'язкі, не теплостійкі;
- високотверді, теплостійкі та зносостійкі;
- зносостійкі, високотверді та середньої теплостійкості;
- високотверді та нетеплостійкі.

Інструментальна сталь має велику кількість марок, різних за хімічним складом, структурою і властивостями. Необхідні властивості інструментальної сталі визначаються в першу чергу за призначенням інструменту та умов його роботи.

Залежно від цих умов розрізняють такі групи інструментальної сталі:

- вуглецеві та леговані сталі для різального інструменту, який працює в легких умовах різання;
- леговані сталі для різального інструменту, який працює в складних умовах різання;

- штампові сталі для деформування металів в холодному та гарячому стані;
- сталі для вимірювальних інструментів.

Високих експлуатаційних властивостей інструментальних сталей досягають шляхом термічної обробки (загартування). Інструментальну сталь першої групи гартують при температурі від 120 °С до 180 °С. Така обробка забезпечує міцність і стійкість інструменту. Сталь другої групи піддають звичайному, ступінчастому або ізотермічному загартуванню. Сталь третьої групи гартують при температурі від 300 °С до 500 °С. Сталь четвертої групи гартують при температурі від 140 °С до 150 °С протягом часу від 6 годин до 12 годин. У сучасному виробництві легована інструментальна сталь мало використовується, в зв'язку з застосуванням твердих сплавів і металокерамічного інструменту [7].

Серед основних марок інструментальних штампованих сталей слід відмітити: X6ВФ, X12, X12Ф1, X12МФ, X12ВМ, 7ХГ2ВМФ, 7ХЗ, 8ХЗ, 5ХНМ, 5ХГМ, 4ХМФС, 4Х5МФ1С, 4Х5МФС, 3ХЗМЗФ, 3Х2В8Ф, 3Х2Н2МВФ, 27Х2Н2М1Ф, 6ХС, 4ХВ2С, 5ХВ2С, 6ХВ2С, 6ХВГ, 40Х5МФ, 4Х2НМФ та інші [8].

Для обробки металів тиском застосовують інструменти – штампи, пуансони, ролики, валики та інші інструменти, що деформують метал (рис. 1.1). Сталі, що застосовуються для виготовлення інструменту такого роду, називають штамповими сталями (за видом найбільш поширеного інструменту).

Штампові сталі діляться на дві групи: сталі, що деформують метал в холодному стані та сталі, що порушують метал в гарячому стані, при цьому умови роботи сталі при різних видах штампування сильно розрізняються.

При штампуванні в гарячому стані метал, що штампується, під дією половинок штампа, що зближуються, деформується і заповнює внутрішню порожнину штампа. В роботі внутрішня порожнина штампа («фігура»), яка деформує метал, стикається з нагрітим металом. Тому штампова сталь для

гарячого штампування повинна володіти не тільки певними механічними властивостями в холодному стані, але і досить високими механічними властивостями в нагрітому стані. Особливо бажано мати високу межу текучості (пружності), щоб при високому тиску штамп не деформувався. Для ковальських штампів велике значення має і в'язкість, щоб штамп не зруйнувався під час роботи при ударах по металу, що деформується. Стійкість проти зношування в усіх випадках дуже важлива, так як вона забезпечує збереження розмірів «фігури» та довговічність роботи штампа.



Рисунок 1.1 – Основні види продукції з інструментальної сталі

Для пресового інструменту, що працює без ударів, велике значення має зносостійкість в гарячому стані та відносно менше в'язкість. Тому для молотових штампів і для пресового інструменту застосовують сталі різних марок.

Для штампування в холодному стані сталь, з якої виготовляють штампи, зазвичай повинна володіти високою твердістю, що забезпечує стійкість сталі проти стирання, хоча і в'язкість, особливо для пуансонів, має також першорядне значення.

Сталь для «гарячих штампів» повинна мати якомога меншу чутливість

до місцевого нагріву. У недостатньо в'язкої (пластичної) сталі, наприклад, у погано відпущеної, місцевий нагрів може привести до утворення тріщин.

Ще в більш важких умовах роботи знаходиться сталь в штампах (прес-формах) для лиття під тиском. Нагрівання робочої поверхні форми розплавленим металом і охолодження водою внутрішніх частин форми викликають значні напруги. Сталь, що застосовується для прес-форм, повинна бути також досить зносостійкою, мати високі механічні властивості в нагрітому стані та добре чинити опір роз'їданню поверхні форми розплавленим металом.

Крім перерахованих властивостей, від сталі, з якої виготовляють штампи великих розмірів, потрібно підвищена прокаліваємість. Сталь, що застосовується для штамів і пуансонів складних конфігурацій, повинна мало деформуватися при загартуванні.

Зважаючи на численні та різноманітні вимоги, що пред'являються до штамів в залежності від їх призначення, застосовують сталі різних марок, починаючи від простих вуглецевих і закінчуючи складнолегованими [9].

Серед основних вимог, що пред'являються до штампових сталей, є [10]:

- твердість у поєднанні з високою в'язкістю;
- технологічність: повинна піддаватися обробці різанням та обробці тиском у гарячому та холодному станах;
- гарна прокаліваємість: повинна мати однорідну високу твердість, однорідну дрібнокристалічну структури в глибину;
- низька чутливість до перегріву: повинна гартуватися в достатньо широкому інтервалі температур;
- незначна деформація при термообробці;
- невелика чутливість до обезвуглецювання при накаливанні, що знижує твердість робочого поверхневого шару;
- хороша шліфованість та полірованість – визначає якість поверхні виробів для штампування.

1.2 Призначення, галузь застосування та фізико-механічні властивості сталі X12MФ

Сталь марки X12MФ (табл. 1.1) згідно ГОСТ 5950–2000 [11] відноситься до інструментальної штампованої сталі. Вона є сталлю перлітного класу. Рекомендується максимальна температура призначення до межі від 570 °С до 585 °С. Температура інтенсивного окалиноутворення повинна бути 600 °С, а термін праці для сталі – більше 10000 годин [12].

Таблиця 1.1 – Хімічний склад сталі X12MФ згідно ГОСТ 5950 –2000 [11]

| Вміст елементів, % | | | | | | | | | | |
|--------------------|---------------|-------------|-------------|--------------|-------------|-------------|--------------|--------------|--------------|-------------|
| C | Mn | Si | Mo | V | Cr | W | Ni | S | P | Cu |
| 1,45- 1,65 | 0,15- 0,45 | 0,1- 0,4 | 0,4- 0,6 | 0,15- 0,3 | 11- 12,5 | н.б. 0,2 | н.б. 0,35 | н.б. 0,03 | н.б. 0,03 | н.б. 0,3 |

Корозійна стійкість сталі X12MФ невисока. Хороша термообробка дасть щільну структуру і відносно непогану стійкість до ударних навантажень, хоча при цьому вважається, що сталь X12MФ схильна до відпускнуї крихкості – для метання ножі з неї точно не призначені. Вважається, що ця сталь має підвищену зносостійкість. Структура сталі часто призводить до появи візерунка на готовому виробі, який є наслідком карбідної неоднорідності. Через цю неоднорідність та велику кількість великих карбідів [13].

Замінниками сталі X12MФ є сталі X6BФ, X12Ф1, X12BM. Закордонними аналогами сталі X12MФ є сталі 1.2379, 1.2601, X162CrMoV12, X165CrMoV12, X155CrVMo12-1 (Німеччина), BD2 (Англія), X160CrMoV12 (Іспанія), SKD11 (Японія), D2 (США) та інші [14, 15].

Мікроструктура термообробленої та підданої відпустці сталі D2 (аналог сталі X12MФ) приведена на рис. 1.2 та 1.3.

Призначення сталі X12MФ – профілювальні ролики складних форм, секції кузовні штампів складних форм, складні диетрошівні матриці при

формуванні листового металу, сталонні шестірні, накатні плашки, волокнисті та пуансонні вирубні просічені штампи зі складною конфігурацією робочих частин, штампування активної частини електричних машин.

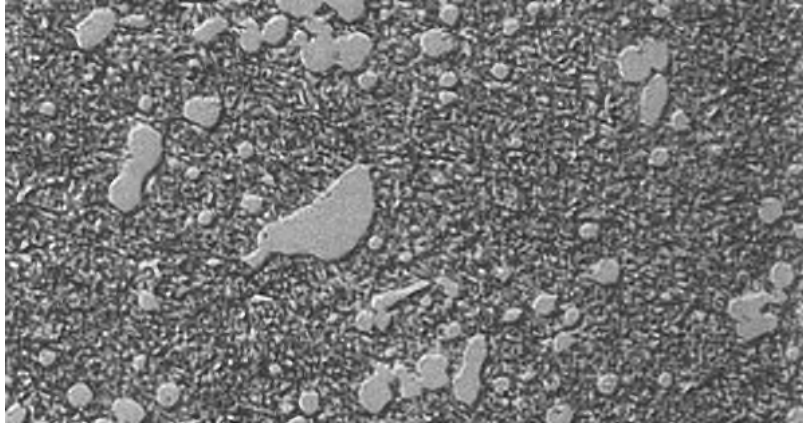


Рисунок 1.2 – Мікроструктура правильно термообробленої та підданої відпустці сталі D2 (аналог сталі X12МФ) [13]

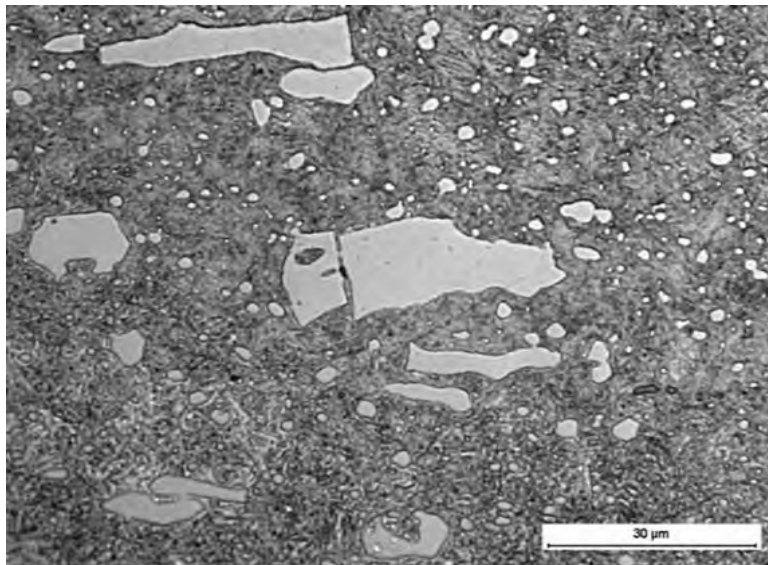


Рисунок 1.3 – Мікроструктура перегрітої при термообробці сталі D2 (аналог сталі X12МФ) [13]

Вид постачання: сортової прокат, у тому числі фасонний: ГОСТ 5950-2000, ГОСТ 2590-2006, ГОСТ 2591-2006. Калибрований пруток ГОСТ 5950-2000, ГОСТ 7417-75, ГОСТ 8559-75, ГОСТ 8560-78. Шлифований пруток и серебрянка ГОСТ 5950-2000, ГОСТ 14955-77. Полоса ГОСТ 4405-75. Поковки

та ковані заготовки ГОСТ 5950-2000, ГОСТ 1133-71, ГОСТ 7831-78 [15].

Фізико-механічні та теплотехнічні властивості сталі Х12МФ приведено у табл. 1.2 – 1.7 [15, 16].

Таблиця 1.2 – Фізичні властивості сталі 12ХМФ

| | | | | | | | | | | |
|--|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|-------------|
| $T, ^\circ\text{C}$ | 20 | 100 | 200 | 300 | 400 | 500 | 600 | 700 | 800 | 900 |
| $R \cdot 10^9, \text{Ом} \cdot \text{м}$ | 580 | | | | | | | | | |
| $\rho, \text{кг/м}^3$ | 7700 | | | | | | | | | |
| $T, ^\circ\text{C}$ | 20- 100 | 20- 200 | 20- 300 | 20- 400 | 20- 500 | 20- 600 | 20- 700 | 20- 800 | 20- 900 | 20- 1000 |
| $\alpha \cdot 10^6, 1/\text{град}$ | 10,9 | | | 11,4 | | 12,2 | | | | |

Таблиця 1.3 – Механічні властивості сталі Х12МФ в залежності від температури випробування

| Температура випробування, $^\circ\text{C}$ | $\sigma_{\text{в}}, \text{МПа}$ | $\delta_5, \%$ | $\Psi, \%$ |
|--|---------------------------------|----------------|------------|
| Зразки діаметром 10 мм, довжиною 50 мм, ковані та відпалені. Швидкість деформування 1,1 мм/ хв., швидкість деформації 0,0004 1/с | | | |
| 700 | 140 | 44 | 68 |
| 800 | 124 | - | 58 |
| 900 | 81 | 46 | 54 |
| 1000 | 46 | - | 49 |
| 1100 | 25 | 48 | 48 |
| 1200 | 8 | 3 | 14 |

Температура критичних точок матеріалу Х12МФ:
 $A_{\text{с}1}=810, A_{\text{с}3}(A_{\text{с}m})=860, A_{\text{r}3}(A_{\text{r}c_m})=780, A_{\text{r}1}=760, M_n=225.$

Температура кування: початку 1140 $^\circ\text{C}$, кінця 850 $^\circ\text{C}$. Охолодження в колодязях або термостатах. Твердість сталі Х12МФ після відпалу НВ=255 [16].

Таблиця 1.4 – Теплостійкість сталі X12МФ

| Температура, °С | Час, год. | HRC _δ |
|------------------------|-----------|------------------|
| 150-170 | 1 | 63 |
| 490-510 | 1 | 59 |
| Шліфуємість задовільна | | |

Таблиця 1.5 – Твердість сталі 12ХМФ після термообробки (ГОСТ 5950-73)

| Стан постачання, режим термообробки, режими термообробки | HRC _δ (HB) |
|--|-----------------------|
| Прутки та смуги відпалені або високовідпущені зразки | до (255) |
| Гартування 970 °С, олива. Відпускання 180 °С. Гартування 1020 °С, повітря. Відпускання при температурі, °С: | св. 61 |
| 200 | 63 |
| 300 | 61 |
| 400 | 60 |
| 500 | 61 |
| Ізотермічний випал: нагрів від 850 °С до 870 °С, охолодження зі швидкістю 40 град/год. до температури в межах від 700 °С до 720 °С, витримка від 3 годин до 4 годин, охолодження зі швидкістю 50 град/год. до 550 °С, повітря. | (255) |
| Підігрів від 650 °С до 700 °С. Гартування від 1000 °С до 1030 °С, олива. Відпускання від 190 °С до 210 °С, 1,5 год., повітря (режим кінцевої термообробки). | 61-63 |
| Підігрів від 650 °С до 700 °С. Гартування від 1000 °С до 1030 °С, селитра. Відпускання від 320 °С до 350 °С, 1,5 год., повітря (режим кінцевої термообробки). | 58-59 |

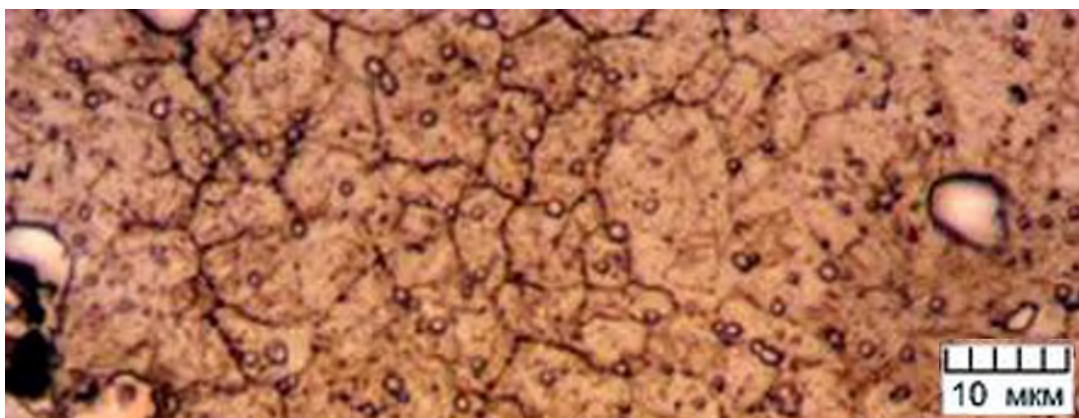
Таблиця 1.6 – Критичний діаметр при гартуванні сталі Х12МФ, мм

| Середовище для гартування | | |
|---------------------------|---------|---------|
| олива | селітра | повітря |
| 80-100 | 80-100 | 50-60 |

За своєю структурою ці штампові сталі схожі на швидкорізальні, в них відбуваються перетворення за тим же типом (рис. 1.4) [9].



а



б

а – карбіди однорідні за розмірами, б – карбіди неоднорідні за розмірами

Рисунок 1.4 – Структура сталі Х12МФ

Таблиця 1.7 – Ударна в'язкість сталі Х12МФ в залежності від температури відпускання

| Температура відпускання, °С | КСУ, кДж/м ² | HRC _δ |
|---|-------------------------|------------------|
| Гартування від 1000 °С до 1030 °С, олива. Витримка при відпусканні 1,5 год. | | |
| 200 | 43 | 63 |
| 300 | 64 | 61 |
| 400 | 54 | 60 |
| 500 | 30 | 60 |
| 550 | - | 52 |

1.3 Вплив легуючих елементів на властивості сталі марки Х12МФ

Легування – це введення в металевий розплав легуючих елементів для зміни структури готового металу і додання йому певних фізичних, хімічних, механічних або експлуатаційних властивостей.

Кожен легуючий елемент робить свій позитивний вплив на міцність або на особливі фізико-хімічні властивості сталі тільки в тому випадку, коли він введений в сталь в точно встановлених межах при відповідному вмісті вуглецю, а дуже часто – тільки в поєднанні з іншими легуючими елементами [17] –[20].

Згідно [21] для легування сталі марки Х12МФ використовують кусковий феросиліцій марки ФС65 (ГОСТ 1415-93 [22]), феромарганець марки ФМн90(РА) (ГОСТ 4755-91 [23]), хром металевий марки Х97,5 (ГОСТ 5905-2004 [24]), нікель металевий марки Н-4 (ГОСТ 849-2008 [25]), феромолібден марки ФМо60 (ГОСТ 5759-71 [26]), та ферованадій марки ФV60 (ГОСТ 27130-94 [27]). Прутки, штаби та мотки з інструментальної легової сталі повинні відповідати ГОСТ 5950–2000 [28].

Вигар легуючих елементів з феросплавів (присадка в рідкий метал) та легованих відходів приведено в табл. 1.8 [18].

Вплив легуючих елементів на властивості сталі 12ХМФ наступний:

1. Кремній. Кремній підвищує твердість, міцність і пружність сталі та

знижує її в'язкість. В сукупності з хромом він підвищує опірність сталі проти окислення при високій температурі.

Феросиліцій, як розкислювач, досаджують в метал шматком на початку періоду доведення, а як легуючий компонент - перед випуском плавки з печі в ківш. Розчинення феросиліцію відбувається з позитивним тепловим ефектом. Кількість тепла, яке виділяється при розчиненні кремнію, більше тієї кількості тепла, яке необхідно для розплавлення феросиліцію, тому розчинення феросиліцію не супроводжується охолодженням ванни. Високий вміст кремнію сприяє зниженню вмісту кисню і сірки в сталі.

Таблиця 1.8 – Відносний вигар легуючих елементів з феросплавів та легованих відходів

| Елемент | Присадка I в рідкий метал | | Переплав II без окислення | |
|----------|---------------------------|----------------------|---------------------------|---------------------|
| | вміст, % | вигар, % | вміст, % | вигар, % |
| Хром | ≤ 5 ; > 5 | 5-10; ≤ 5 | ≤ 5 ; > 5 | 10-15; ≤ 10 |
| Молібден | > 1 | ≤ 3 | ≤ 1 ; > 1 | ≤ 3 ; ≤ 5 |
| Нікель | ≤ 5 | 0 | ≤ 5 ; > 5 | 0; ≤ 3 |
| Вольфрам | 4-13 | 7-9 | ≤ 3 ; > 5 | ≤ 10 ; 7-9 |
| Ванадій | ≤ 1 ; > 1 | ≤ 10 ; ≤ 8 | ≤ 1 ; > 1 | ≤ 20 ; 10-15 |
| Титан | ≤ 1 | 30-50 | ≤ 1 | ≤ 70 |
| Ніобій | $\leq 1,5$ | 10-20 | $\leq 1,5$ | 25-30 |

2. Марганець. Марганець зменшує червоноламкість сталі, підвищує її твердість (рис. 1.5, а), тимчасовий опір, межу пружності та знижує в'язкість (рис. 1.5, б) тим сильніше, чим більше вміст в сталі вуглецю.

Зі збільшенням вмісту марганцю в сталі підвищується її твердість і міцність, знижується в'язкість. Зварюваність сталі при вмісті марганцю від 0,4% і вище погіршується. Марганець послаблює шкідливий вплив сірки, зменшуючи червоноломкість сталі.

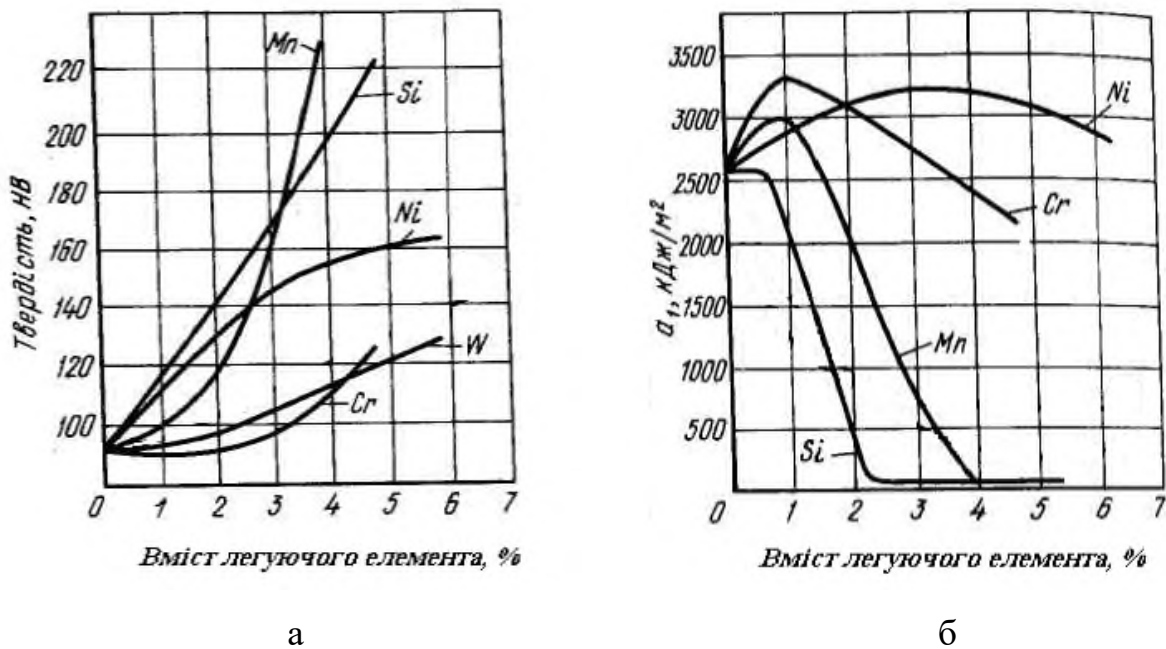


Рисунок 1.5 – Залежність твердості (а) та ударної в'язкості (б) фериту від вмісту легуючих елементів

Феромарганець зазвичай вводять у ванну в кінці окислювального періоду доведення. Корекцію хімічного складу сталі за вмістом марганцю здійснюють присадками сплавів марганцю в піч або в ківш. Засвоєння марганцю становить від 80% до 95%.

3. Хром. Хром додає сталі твердість (рис. 1.1, а), підвищує тимчасовий опір, межу текучості та пружності. У поєднанні з нікелем хром додає сталі кислотостійкість. Він позитивно впливає на фізичні властивості конструкційних сталей.

При виплавці з окисленням основну кількість ферохрому досаджують в метал після скачування окислювального шлаку. На переплавних плавках з використанням кисню для знеуглецювання ванни основну частину ферохрому дають в завалення, розташовуючи його ближче до укосів. Ферохром для добавок, що коректують, заздалегідь підігрівають до температури в межах від 600 °С до 800 °С. Маючи на меті зменшення втрат хрому, шлак після присадки ферохрому обробляють розкислювальними сумішами.

Після присадки ферохрому шлак набуває зеленого відтінку, таке

забарвлення надають йому оксиди хрому, що вносяться сплавом. Оксиди хрому відновлюються, і шлак набуває світлого забарвлення. Ферохром попередньо підігрівають; в результаті збільшується продуктивність печі, підвищується стійкість футеровки, знижується витрата електроенергії.

4. Нікель. Нікель в умовах електроплавлення не окислюється і його завантажують в завалення з розрахунку нижньої межі його вмісту в сталі, що виплавляється, з урахуванням наявності нікелю в металевій шихті. Коректування хімічного складу сталі за нікелем здійснюють в печі та в ковші. Присадка великих кількостей нікелю в завалення супроводжується його випаровуванням (до 5%) під дією електричних дуг.

Нікель, на відміну від інших елементів, істотно знижує поріг холодноламкості при всіх концентраціях (рис. 1.6).

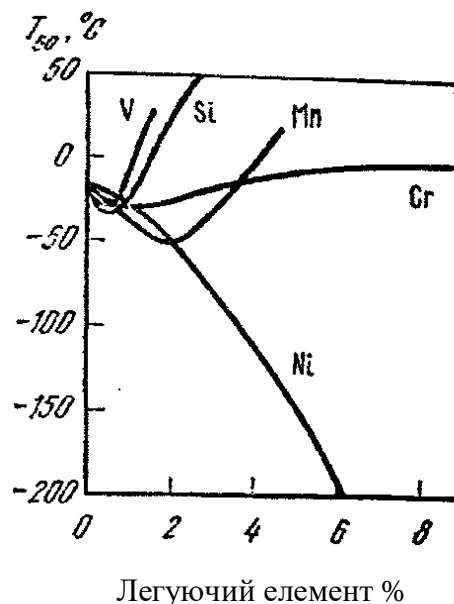


Рисунок 1.6 – Вплив легуючих елементів на температуру переходу фериту в крихкий стан (поріг холодноламкості T_{50})

5. Молибден. Молибден значно більше, ніж хром і вольфрам, підвищує стійкість сталі проти зростання зерна при нагріві. Він робить хромонікелеву сталь стійкою проти відпускнуї крихкості та застосовується при виробництві конструкційних легованих сталей для авіабудування і різних вузлів машин

відповідального призначення.

Феромолібден має підвищену тугоплавкість і практично не окислюється в рідкій ванні. Його досаджують в метал в кінці розплавлення шихти або на початку періоду доведення. У завалення феромолібден не завантажують, оскільки під дією дуг він випаровується. У ряді випадків феромолібден замінюють обпаленим молібденовим концентратом або молібдатом кальцію.

6. Ванадій. Ванадій є розкислювачем сталі. Він сприяє отриманню сталі з дрібнозернистою будовою, що сприятливо позначається на підвищенні її механічних властивостей. Ванадій як і нікель, додає сталі в'язкість та підвищує її міцність. У деяких марках швидкорізальної сталі частина вольфраму замінена хромом і ванадієм. Ванадій легко окислюється, тому ферованадій досаджують в метал, що розкислюється, від 20 хв. до 30 хв. перед випуском плавки або в ківші [18] – [20].

Таким чином, аналіз сортаменту сталей, що виплавляються на сьогодні, показав на актуальність виплавки інструментальних марок сталей, зокрема марки X12MФ для виробництва ножів, волоків, волочильних дощок, згинальних та формувальних штампів.

2 ОГЛЯД МЕТОДІВ ВИПЛАВКИ ІНСТРУМЕНТАЛЬНИХ СТАЛЕЙ

2.1 Виплавка сталі з повним окисленням

Складовими шихти при виплавці сталі з повним окисленням є сталевий вуглецевий брут, чавун та кокс. Плавку шихтують так, щоб за час кипіння окислилось не менше 0,03 % вуглецю, а вміст фосфору повинен бути не більше 0,015 %. У завалку для легування також вводять кусковий феромолібден.

Окислювальний період проводиться так, щоб швидкість окислення вуглецю була від 0,3 % до 0,5% у годину. Температура металу в процесі кипіння повинна рівномірно підвищуватися і перед скачуванням окислювального шлаку повинна бути в межах від 10 °С до 20 °С вище температури сталі перед випуском плавки з печі.

У кінці розплавлювання в добре прогрійтий метал вводиться порціями залізна руда від 10 кг до 20 кг на тонну шихти в якості окислювача. Рафінування проводять під рафінувальним шлаком, що складається з вапна, шамоту і шпату, а іноді вводять порошок коксу. При цьому для легування феромарганець і ферохром вводять в період рафінування в добре розкислений розплав, а феросиліцій марки ФС65 для легування вводять в розплав не пізніше, ніж за 30 хв. до випуску плавки. Тривалість рафінування складає від 50 хв. до 90 хв. [29].

Характерною особливістю цього способу є наявність окислювального періоду, протягом якого окислюються вуглець і фосфор, що міститься в сталі. Поряд з цим окислюються і деякі інші елементи: хром, марганець, кремній та інші. Перевагою цього методу плавки є можливість отримання сталі з дуже низьким вмістом фосфору при підвищеному вмісті фосфору в шихті. Крім того, окислення вуглецю в окислювальний період викликає кипіння ванни та сприяє дегазації металу. Завдяки цим перевагам плавка сталі з окисленням отримала найбільше розповсюдження. Недоліком цього методу є втрата деяких легуючих елементів, що містяться у відходах, наприклад, хрому, та велика

тривалість окислювального та відновлювального періоду, тобто велика тривалість плавки.

2.2 Виплавка методом електрошлакового переплаву

Виплавка сталі електрошлаковим переплавом (ЕШП) передбачає переплав металу у вигляді електрода, що витрачається, зануреного в шар рідких електропровідних шлаків (флюсу). При цьому кількість флюсу становить від 40 кг до 70 кг на 1 тону переплавленого металу. Розплавлювання шлаків проводиться в окремій шлакоплавильній електродуговій печі. Крім того, шлаки ЕШП відрізняються від інших шлаків, що застосовуються у сталеплавильному виробництві, вмістом великої кількості плавикового шпату та глинозему.

У процесі ЕШП під час краплинного переносу металу через шлаки забезпечується високий ступінь рафінування його за вмістом сірки та неметалевих включень. Вміст сірки в металі знижується в межах від 0,005 % до 0,08 %, причому сірка не накоплюється в шлаках, а у вигляді летучих з'єднань виділяється в атмосферу. Неметалеві включення металу поглинаються жужільною ванною.

У результаті глибокого рафінування сталь ЕШП має в порівнянні з металом вакуумно-дугового переплаву (ВДП) більш повну та однорідну макроструктуру, характеризується підвищеною пластичністю, в'язкістю та опором термічної втоми, особливо в поперечному напрямку, а також меншим коефіцієнтом анізотропії властивостей по перетину заготовки.

2.3 Виплавка методом вакуумно-дугового переплаву

Сутність метода вакуумно-дугового переплаву полягає в переплаві електродів, що витрачаються, у вакуумній дуговій печі. При цьому електрод, що витрачається, розплавлюється під дією електричної дуги, і метал, стікаючи краплями, затвердіває у мідному водоохолоджуємому кристалізаторі.

Особливістю вакуумно-дугового переплаву є проведення плавки, при цьому режим початкової стадії плавки повинен забезпечити швидке утворення рідкої ванни, тому сила струму підвищується від 20% до 30% у порівнянні з номінальним значенням.

Перевагою виплавки сталі вакуумно-дуговим переплавом є підвищення якості металу за рахунок зменшення вмісту в ньому водню, кисню, неметалевих включень та шкідливих домішок. При цьому зменшується виділення грубих включень по границях зерен та поліпшується щільність металу.

2.4 Виплавка методом одношлакового процесу

Шихту при виплавці сталі одношлаковим процесом становлять леговані та вуглецеві відходи, кокс або електродний бій, при цьому вміст фосфору в шихті повинен бути в межах від 0,005 % до 0,01 % нижче верхньої межі.

Розплавлювання шихти та продувка киснем здійснюється також як при виплавці сталі переплавом із чистим окисненням. При цьому після періодів плавки та продувки металу киснем окислювальний шлак не скачується. По закінченню періоду продувки в піч присаджують чушковий алюміній, кусковий феросиліцій, вапно та шамот за необхідності. Подальше розкислення та легування здійснюється як при виплавці сталі із частковим окисненням. Тривалість окиснення в печі при такому методі плавки становить від 10 хв. до 20 хв.

Даний метод плавки характеризується прискореним рафінуванням металу, що скорочує тривалість плавки, зменшує витрати електроенергії та розчинників, а також спрощує ведення процесу. Недоліком даного методу є необхідність використовувати шихту досить чисту за вмістом сірки. Сталь, отриману цим методом, необхідно піддати спеціальній позапічній обробці для більш повного видалення сірки та неметалевих включень [17, 18, 21, 29].

Таким чином, огляд сучасних методів виплавки інструментальних сталей показав, що їх доцільно виплавляти наступними методами: виплавою

з повним окисненням, методом електрошлакового переплаву, методом вакуумно-дугового переплаву та методом одношлакового процесу. Визначено, що сталь марки Х12МФ з точки зору технологічності процесу та отримання більш якісного металу доцільно виплавляти в дугових сталеплавильних печах методом повного окислення домішок.

3 КОНСТРУКЦІЯ МЕТАЛУРГІЙНИХ АГРЕГАТІВ ДЛЯ ВИПЛАВКИ, РОЗЛИВКИ ТА ОБРОБКИ ІНСТРУМЕНТАЛЬНИХ СТАЛЕЙ

3.1 Конструкція дугової сталеплавильної печі

Дугова сталеплавильна піч (ДСП) (рис. 3.1) являє собою піч, в якій використовується тепловий ефект електричної дуги для плавки металів та інших матеріалів [30]. Вона складається з робочого простору (власне печі) з електродами і струпопідводів та механізмів.

Сучасні дугові сталеплавильні печі змінного струму експлуатуються відповідно до встановленого типового ряду місткостей: 0,5 т; 1,5 т; 3 т; 6 т; 12 т; 25 т; 50 т; 100 т; 150 т та 200 т.

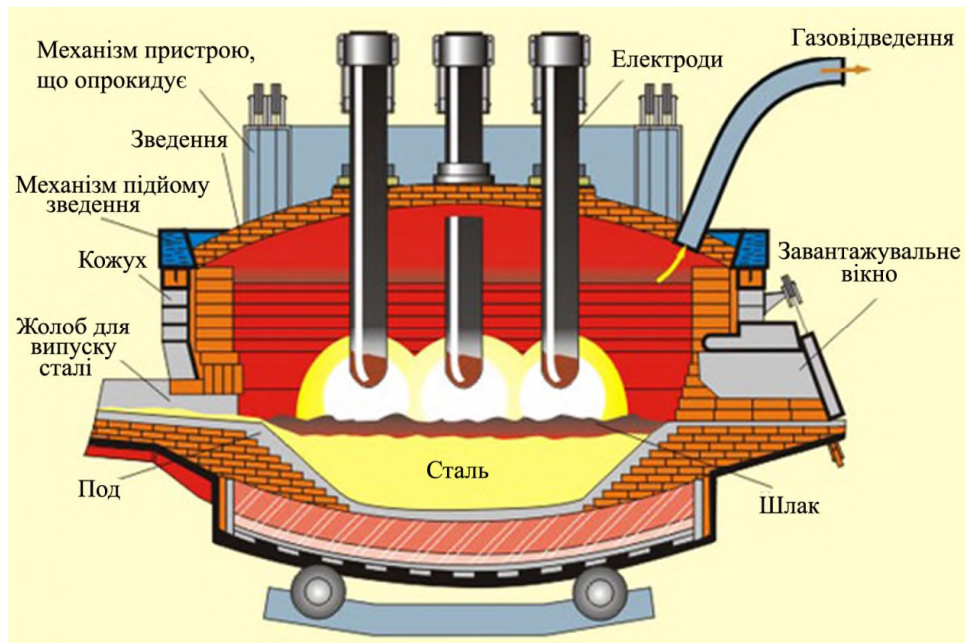


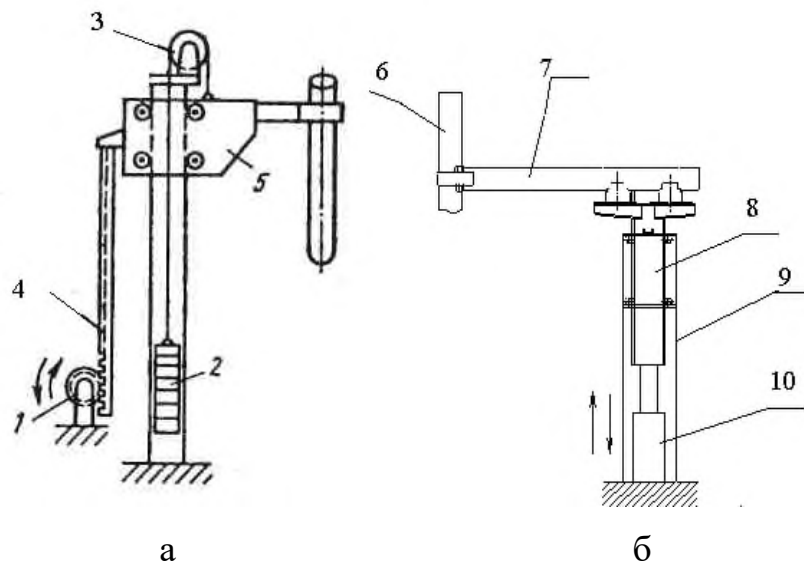
Рисунок 3.1 – Сучасна дугова сталеплавильна піч

Основними елементами дугової сталеплавильної печі є:

- кожух і зведення;
- ущільнювачі електродних отворів (економайзери);
- водоохолоджувальні панелі;

- механізм нахилу печі для зливу металу та скачування шлаку;
- механізм підйому та одвороту зведення для завантаження шихти;
- механізм переміщення електродів.

Кожний електрод має свій незалежний механізм. Він складається з електродотримача і пристроїв, що забезпечують переміщення його з електродом у вертикальному напрямку. Застосовуються механізми переміщення електродів двох типів: з кареткою і з телескопічною стійкою. У першому випадку (рис. 3.2, а) електродотримач рукавом (7) кріпиться до каретки (5), яка на напрямних роликах переміщується по нерухомій вертикальній стійці. У другому (рис. 3.2, б) – рукав (7) електродотримача закріплено на рухомій стійці, що переміщується усередині полої вертикальної нерухомої стійки, яка представляє собою порожнисті колони круглого перерізу, закріплені в одній з бічних сторін печі.



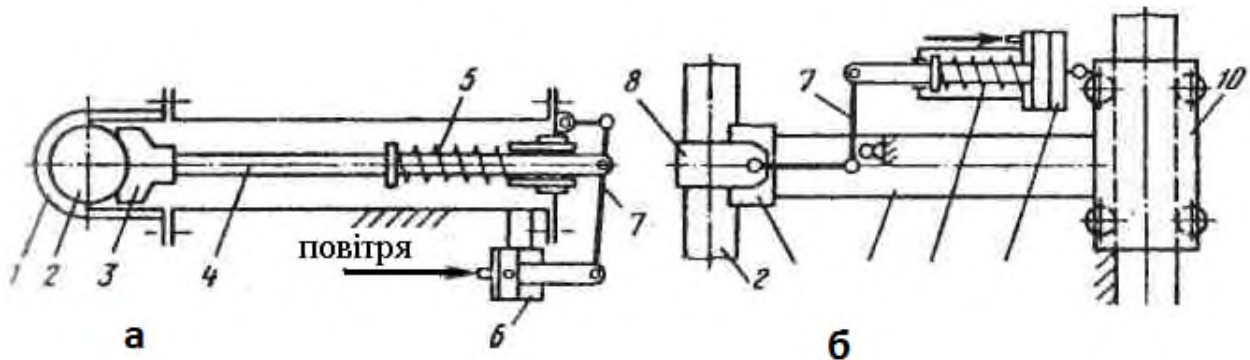
- 1 – привод; 2 – противага; 3 – блок; 4 – рейка; 5 – каретка; 6 – електрод;
7 – рукав електродотримача; 8 - телескопічна стійка (рухлива); 9 – нерухома стійка; 10 – гідроциліндр

Рисунок 3.2 – Схема механізму переміщення електродів з кареткою (а) телескопічною стійкою (б)

У надпотужних печах застосовують телескопічні стійки, що

переміщуються по роликах у вертикальній шахті, закріпленої на корпусі печі. Рухому частину механізмів постачають противагою, що дозволяє зменшити потужність приводу. Привод, що переміщує електроди зі швидкістю від 0,6 м/хв. до 3,0 м/хв. може бути гідравлічним (рис. 3.2, б), або електромеханічним – з передачею руху від електродвигуна за допомогою системи зубчастої рейки. Механізм переміщення електродів повинен забезпечувати самостійний рух кожного електрода вгору і вниз при включенні та відключенні печі, а також і в період її роботи. Рух має бути повільним, поступовим і в той же час швидким. Механізми переміщення електродів забезпечують швидкий підйом електродів у разі обвалу шихти у процесі плавки, а також плавне опускання електродів, щоб уникнути їх занурення в рідкий метал, чи ударів шматків шихти. Швидкість підйому електродів складає від 2,5 м/хв. до 6 м/хв., швидкість опускання від 1,0 м/хв. до 2,0 м/хв.

Електродотримач служить для затиску і утримання електрода в заданому положенні, а також і для підведення до нього струму. Головки електродотримачів роблять з бронзи або сталі та охолоджують водою, так як вони сильно нагріваються як теплом з печі, так і контактними струмами. Електродотримач повинен щільно затискати електрод і мати невеликий контактний опір. Найбільш поширеним на сьогодні є пружинно-пневматичний електродотримач (рис. 3.3).



- 1 – півкільце; 2 – електрод; 3 – колодка; 4 – шток; 5 – пружина; 6 – пневмоциліндр; 7 – система важелів; 8 – хомут; 9 – рукав електродотримача;
10 – каретка

Рисунок 3.3 – Схема електродотримачів дугової сталеплавильної печі

В одній конструкції механізму затискача електроду (рис. 3.3, а) голівка виконана у вигляді кільця або півкільця і рухомої нажимної колодки. Електрод в робочому стані затиснутий в кільці колодкою за рахунок зусилля пружини. Якщо потрібно звільнити електрод, то в пневмоциліндр подають повітря, поршень і важелі, стискаючи пружину, переміщують колодку вправо, звільняючи електрод. У другому різновиді (рис. 3.3, б) – головка складається з нерухомої колодки і хомута, що охоплює електрод. Електрод притискається до струмоведучої колодки за допомогою хомута за рахунок зусилля пружини, що передається важільною системою (7). При подачі повітря до пневмоциліндру хомут зсувається вліво, звільняючи електрод. На нових надпотужних печах замість пружинно-пневматичних встановлюють схожі з ними пружинно-гідравлічні механізми затискача електродів.

Головка електрично ізольована від рукава; на середніх і потужних печах елементи головки охолоджують водою. Струм до голівки подається за допомогою шин або труб, закріплених на ізоляторах зверху рукава.

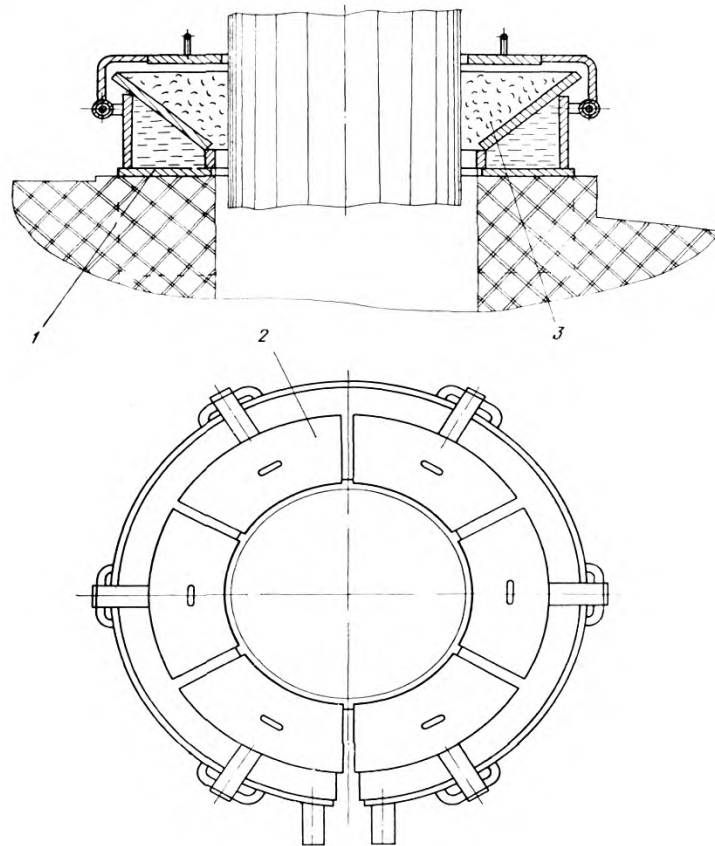
Рукав, виготовлений у вигляді товстостінної труби або зварної коробчастої балки, з'єднує голівку з кареткою, або з рухомою телескопічною стійкою.

Електродотримач повинен бути досить жорстким, щоб не прогинатися під вагою електрода (маса якого може досягати від 2 т до 3 т) і виключати вібрації.

За кордоном широко застосовують так звані струмоведучі електродотримачі. У них рукав виконано у вигляді порожнистого прямокутного перерізу штанги з алюмінію, що служить також струмопідводом від гнучких кабелів до головки електродотримача. Алюміній використовують у зв'язку з його високою електропровідністю. При цьому не потрібно струмопідвод з мідних водоохолоджуючих труб.

Для запобігання вибивання газів з робочого простору печі й охолодження зовнішньої частини електродів, що виступають вище зведення, встановлюють економайзери. Найбільш спрощений і легко впроваджений в виробництво економайзер СКБ СЕТМ (рис. 3.4), маючий конусні елементи, що заповнені

шлаковатою. Для додаткового ущільнення передбачені відкидні сегменти.



1 – корпус; 2 – відкидний сегмент; 3 – шлаковата

Рисунок 3.4 – Схема економайзеру конструкції СКБ СЕТМ

Механізм нахилу печі призначений для випуск металу та шлаків. Нахил печі здійснюється на 40° у напрямок зливу та на 15° у бік робочого вікна. Механізми бувають із електричним і гідравлічним приводом. У першому випадку використовується рейкова (рис. 3.5) або гвинтова передача. При цьому встановлюється електромеханічний привод із двома двигунами. Гідравлічні приводи мають значні переваги: спрощену конструкцію за рахунок використання гідроциліндрів поступального руху; більш високий коефіцієнт корисної дії; регулювання зусилля на штоці гідроциліндру в широких межах; значно легше контролюється швидкість повороту і безпечно повертання печі до вихідного положення.

Відомі наступні системи випуску сталі: звичайний, через льотку і

зливний носик, сифонний, еркерний та стопорний випуск металу.

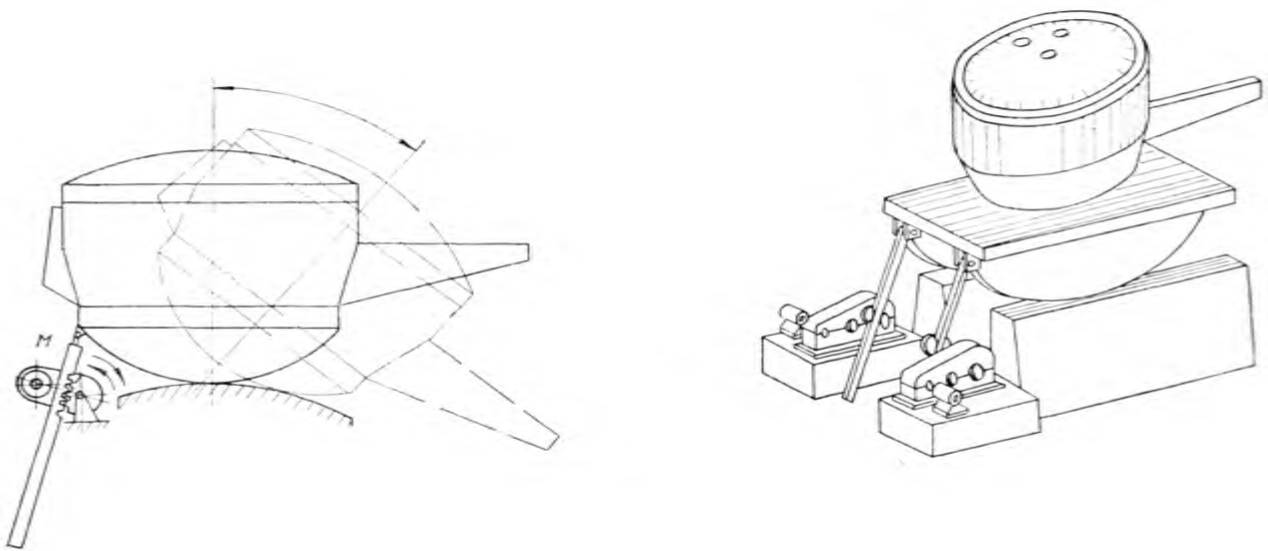


Рисунок 3.5 – Схема механізму нахилу печі на радіальній станині

Для доставки металошихти в пічний проліт використовуються саморозвантажні бадді.

Шихта завантажується в піч через відвернене зведення завалочними кранами (рис. 3.6). Застосовують бадді із грейферним днищем (рис. 3.7). Гнучкі сектори виконуються із пластинчастих або некаліброваних ланцюгів. Завалочні бадді виконуються різних типів: ланцюгові, грейферні та інші (рис. 3.7).

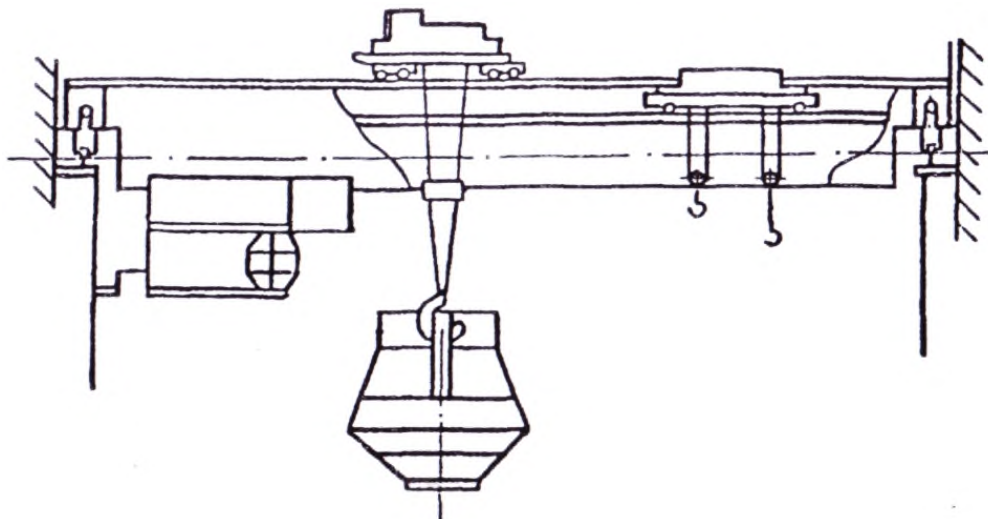
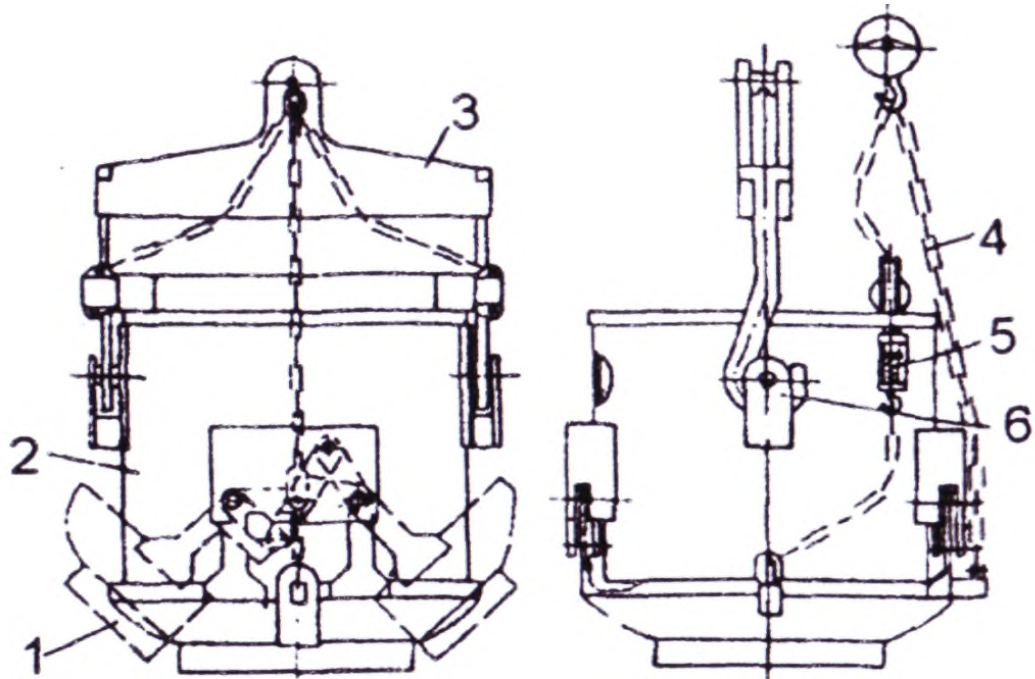


Рисунок 3.6 – Схема крану мостового завалочного

Сипкі матеріали подаються через робоче вікно за допомогою мульдозавалочних кранових машин. Така машина пересувається уздовж пічного прольоту (рис. 3.8) і складається з моста (3), по якому рухаються головний (2) і допоміжний (1) візок.



1 – щелепа; 2 – корпус; 3 – траверси; 4 – ланцюг; 5 – амортизатор; 6 – цапфа

Рисунок 3.7 – Схема завалочної саморозвантажної бадді грейферного типу

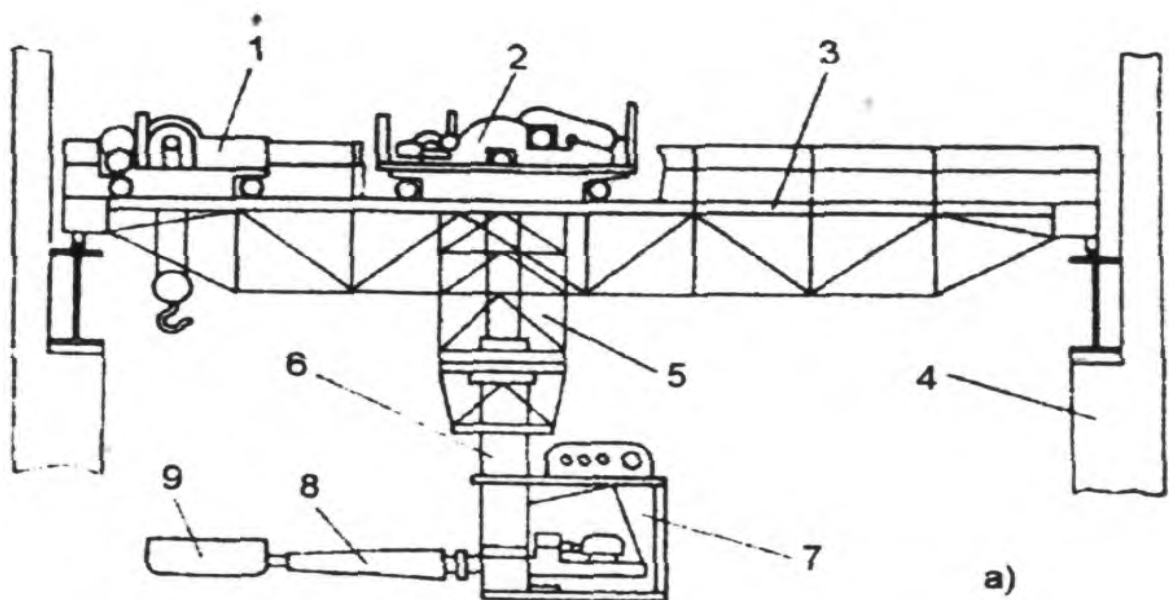


Рисунок 3.8 – Схема мульдозавалочної машини кранового типу

На головному візку змонтована шахта (5), що служить опорою для колони (6) із закріпленою на ній кабіною (7). У кабіні розміщена опора хобота (8), до якої кріпиться через замок мульда (9). Коливання та обертання хобота здійснюється спеціальним механізмом. Колона разом з кабіною може підніматись та опускатися, а також обертатися навколо вертикальної вісі. Вантажопідйомність мульдозавалочних машин 5/20 т (5 т – вантажопідйомність на хоботі, 20 т – вантажопідйомність допоміжного візка).

Мульдозавалочна машина кранового типу, крім завантаження в піч сипких шлакоуворюючих матеріалів і феросплавів, здійснює наступні операції:

- очищає подину та укуси печі після випуску чергової плавки від шлаків, для чого на хобот машини за допомогою спеціального замка навішують металевий шкребок;

- заправляє печі порошкоподібним вогнетривким матеріалом за допомогою спеціальної мульди з отворами, у яку подається стиснене повітря;

- виконує роботи з ремонту печей, нарощуванню електродів і допоміжні технологічні операції в пічному прольоті.

Для подачі сипких матеріалів використовуються заправні машини відцентрового типу (рис. 3.9).

Місткість бункеру становить $3,0 \text{ м}^3$, продуктивність машини 150 т/год., дальність кидання – 8м.

Нарощування електродів проводиться на спеціальній установці (рис. 3.10), оскільки подовження електрода вручну на печі є небезпечною та трудомісткою операцією [31].

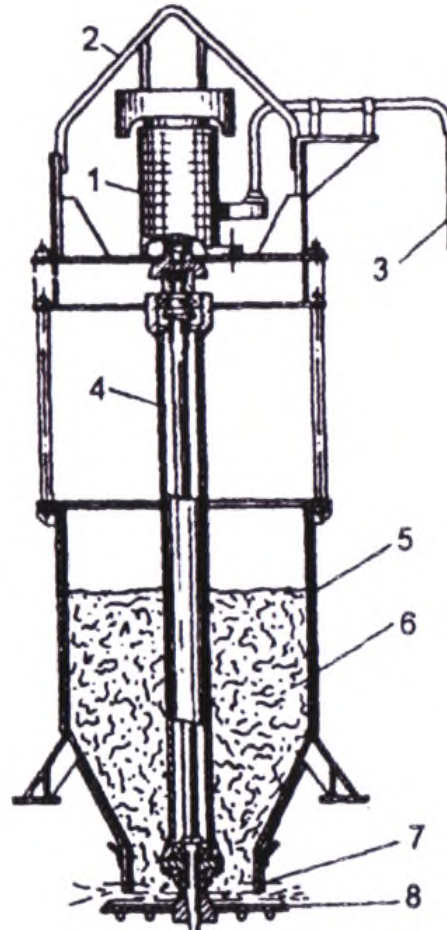
3.2 Конструкція машини безперервного лиття заготівок

На сьогодні на металургійних підприємствах найбільше застосування отримали машини безперервного лиття заготівок (МБЛЗ) наступних типів (рис. 3.12): вертикальні, радіальні, криволінійні та горизонтальні.

За кількістю струмків МБЛЗ поділяють від 1 струмка до 7 струмків.

Залежно від геометрії зливка МБЛЗ діляться на слябові, блюмові та заготівельні [31].

Розглянемо детальніше конструкцію машини криволінійного типу.

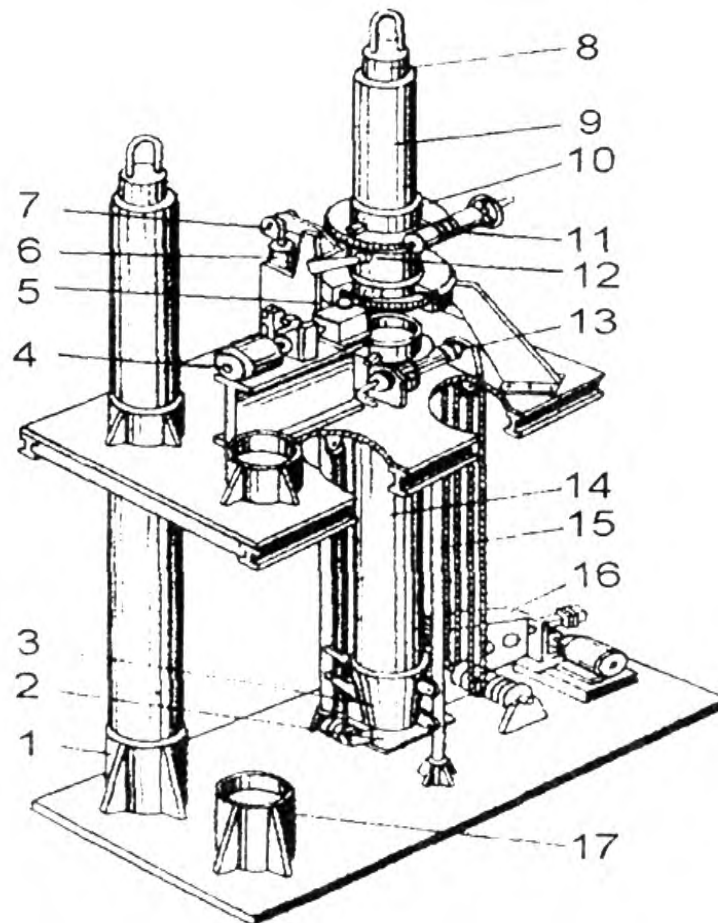


1 – пневматичний двигун; 2 – скоба; 3 – шланг для подачі стисненого повітря;
4 – штанга; 5 – конусоподібний бункер; 6 – порошкоподібний вогнетривкий
матеріал; 7 – манжет; 8 – обертовий диск

Рисунок 3.9 – Схема заправної машини відцентрового типу

У криволінійних МБЛЗ (рис. 3.13) відбувається багатостадійна деформація не повністю затверділої заготовки. МБЛЗ такого типу мають, як правило, радіальний кристалізатор.

Найбільш поширені МБЛЗ працюють за наступною схемою: рідка сталь поступає в крізний водоохолоджуваний кристалізатор.

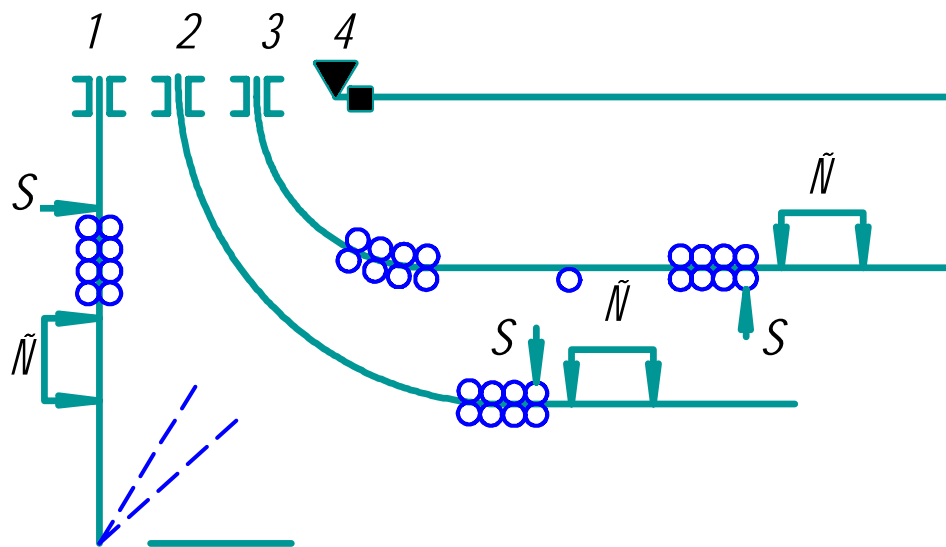


1, 17 – запасний стакан; 2 – каретка; 3 – робочий стакан; 4 – механізм обертання; 5 – приводна шестерня; 6 – гідроциліндр; 7 – траверса; 8 – металевий ніпель; 9 – електрод, що нарощується; 10 – верхнє кільце; 11 – верхній механізм затискача; 12 – ролики; 13 – нижній механізм затискача; 14 – вихідний електрод (свіча); 15 – напрямні стійки; 16 – привод

Рисунок 3.10 – Установа для нарощування електродів

Заздалегідь до початку розливки в кристалізатор вводять штучне рухливе дно (так звану «затравку») (рис. 3.14). Рідкий метал, стикнувшись з холодними тілами затравки і кристалізатора, починає кристалізуватися; затравку разом із застиглим на ній металом повільно витягають із кристалізатора; разом з затравкою тягнеться і заготовка. Для зменшення зусиль витягування і виключення випадків розриву скориночки із-за приварювання скориночки до стінок кристалізатора останньому додають поворотно-поступальний рух, на його стінки подають мастило, на поверхні рідкого металу в кристалізаторі

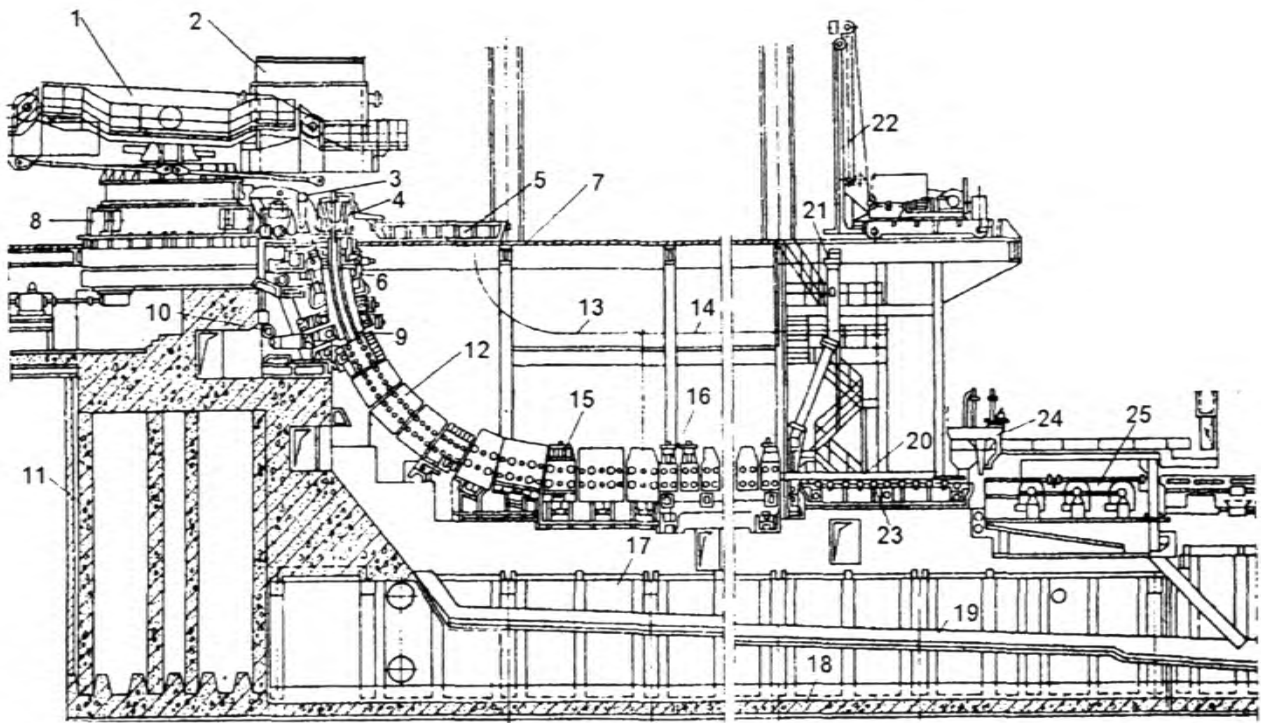
наводять шлак, тонка плівка якого між кристалізатором і заготовкою зменшує тертя. Заготівку, що виходить з кристалізатора, з рідкою серцевиною піддають інтенсивному охолодженню (зазвичай тонкодисперсними струменями води, що подається через спеціальні форсунки). Це охолодження називають вторинним (первинним називають охолодження в кристалізаторі). Після твердіння по всьому перетину заготівка поступає на ділянку різання, де її розрізають на мірні довжини.



1 – вертикальні; 2 – радіальні; 3 – криволінійні; 4 – горизонтальні; С – зона відрізання заготівки; S – кінець твердіння

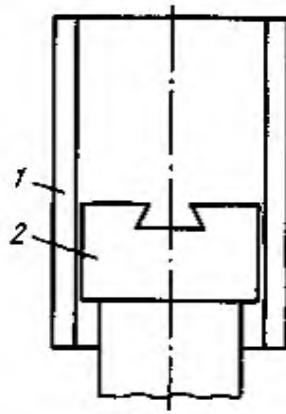
Рисунок 3.12 – Принципові типи машин безперервного розливання сталі

У сучасних конструкціях комплексу сталерозливний ківш – проміжний ківш – кристалізатор передбачене виключення контакту металу з атмосферним повітрям. На рис. 3.15 показаний один з простих (і найбільш поширених) варіантів системи подачі металу в кристалізатор. Добрих результатів досягають при захисті струму аргоном.



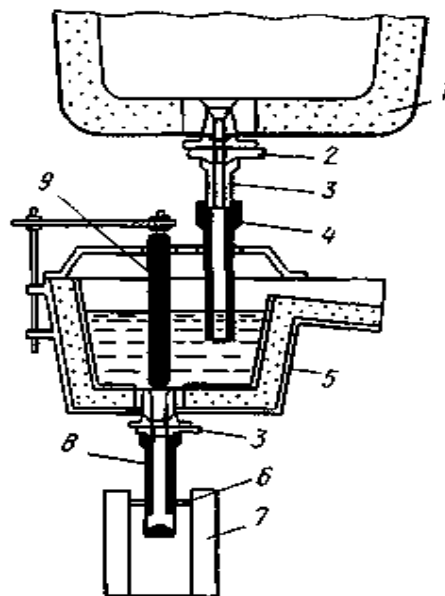
- 1 – двопозиційний підйомно- поворотний стелд; 2 – сталерозливний ківш;
 3 – візок для передачі проміжних ковшів; 4 – проміжні ковші; 5 – аварійна
 ємність; 6 – кристалізатор; 7 – робочий майданчик; 8 – привод поворотного
 стелда; 9 – блок вторинного охолодження; 10 – механізм затискача валків;
 11 – фундамент під стелд; 12 – радіальна ділянка; 13 – криволінійна ділянка;
 14 – горизонтальна ділянка; 15 – роликосекція криволінійної ділянки;
 16 – роликосекція із приводом; 17 – верхня плита фундаменту; 18 – нижня
 плита фундаменту; 19 – лоток гідрозмиву; 20 – затравка; 21 – пристрій для
 відділення затравки від сляба; 22 – пристрій для подачі затравок;
 23 – реверсивний роликосекційний конвеєр; 24 – машина газового різання;
 25 – роликосекційний конвеєр

Рисунок 3.12 – Схема машини безперервного лиття заготовок криволінійного типу



1 – кристалізатор; 2 – головка затравки

Рисунок 3.14 – Схема затравки



1 – сталерозливний ківш; 2 – шиберний затвор; 3 – сполучний стакан;

4 – подовжений стакан; 5 – проміжний ківш; 6 – захисні суміші;

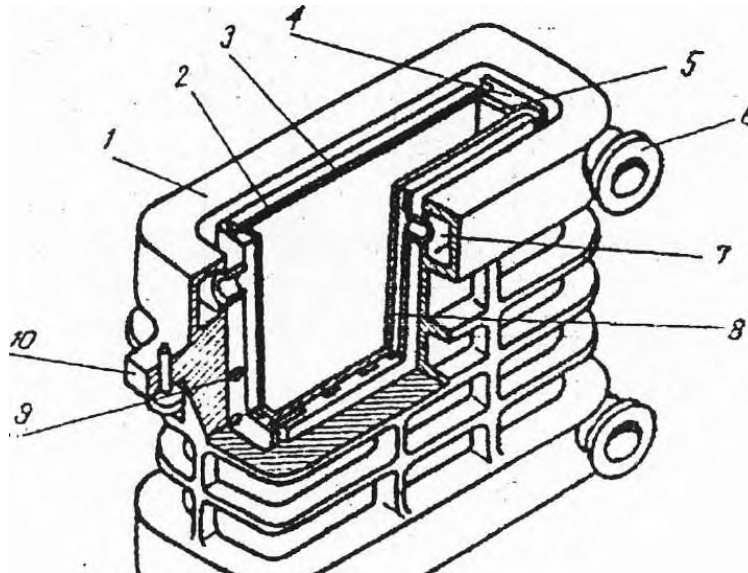
7 – кристалізатор; 8 – занурений стакан; 9 – стопор

Рисунок 3.15 – Схема системи подачі металу в кристалізатор із захистом від дії атмосфери на струмінь металу

Швидка заміна сталерозливних ковшів на сучасних МБЛЗ проводиться за допомогою сталерозливних стендів, на які встановлюють ковші при розливці, і передаються з резервного у робоче положення. За конструкцією та принципом роботи стенди розділяють на два типи:

- мостові (самохідні);
- поворотні.

Кристалізатор складається (рис. 3.16) з корпусу, всередині якого встановлені широкі та вузькі робочі мідні та сталеві стінки, системи охолодження з трубопроводами для підведення води у збірні колектори, пристрої для регулювання положення вузьких стінок і стягуючого пристрою.



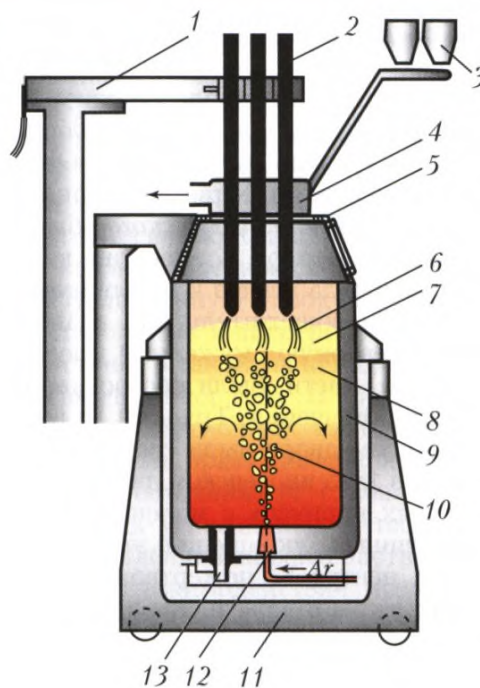
- 1 – корпус; 2, 5 – широкі та вузькі робочі мідні та сталеві 3, 4 стінки;
 6 – системи охолодження з трубопроводами для підведення води в збірні колектори; 7, 8 – пази для циркуляції охолоджуючої води; 9 – гвинти;
 10 – кронштейн

Рисунок 3.16 – Схема устрою кристалізатора машини безперервного лиття заготовок

Збірні колектори сполучені з пазами для циркуляції охолоджуючої води між мідними та сталевими плитами робочих стінок, закріплених гвинтами до корпусу. На корпусі кристалізатора передбачено кронштейн, що опирається на ролики приводних важелів механізму гойдання. Для переходу на лиття заготовок іншої товщини замінюють вузькі стінки [32– 35].

3.3 Конструкція установок позапічної обробки сталі

Установка піч-ківш (УПК) (рис. 3.17) – це агрегат комплексної обробки сталі. Всі процеси обробки сталі в установці піч-ківш засновані на підігріві металу електричними дугами у поєднанні з перемішуванням металу інертним газом.



1 – струмопідведення; 2 – графітовані електроди; 3 – бункера для феросплавів;
 4 – система видалення технологічних газів; 5 – зведення (кришка), що охолоджується водою; 6 – електрична дуга; 7 – рафінувальний шлак;
 8 – рідкий метал; 9 – футерований ківш; 10 – продування газом (аргоном);
 11 – сталевоз; 12 – устрій для продування; 13 – випускний отвір з шиберним затвором

Рисунок 3.17 – Схема установки для позапічної обробки сталі піч-ківш

Завдяки наявності синтетичного шлаку, відповідного марці сталі, що обробляється, установка піч-ківш забезпечує якнайповніше використання розкислювачів та легуючих. Установка піч-ківш (рис. 3.17) складається з

ковша, встановленого після зливу в нього металу на сталевіз з індуктором для електромагнітного перемішування. Ківш обладнаний двома знімними кришками: кришкою-зведенням з трьома електродами для дугового обігріву та вакуумщільною кришкою, сполученою з системою вакуумних насосів.

Установка обладнана системою автоматичного зважування та присадки в ківш необхідних матеріалів.

Комплексна технологія позапічної обробки металу на установках піч-ківш включає наступні операції:

- точне регулювання складу та температури металу, у вузьких межах включаючи його нагрів;
- десульфуріацію металу шляхом вдування порошкоподібних матеріалів;
- зневуглецювання металу;
- рафінування та модифікування металу вдуванням порошку силікокальцію або введенням останнього у вигляді порошкового дроту;
- мікролегування сталі ніобієм та іншими елементами, що вдуваються в розплав або вводяться в нього у вигляді порошкового дроту.

На сьогодні найширше використовують такі методи обробки металу під вакуумом:

- вакуумування в ковші (рис. 3.18);
- порційна та циркуляційна вакуумна обробка (рис. 3.19);
- вакуумування в струмені (при переливанні) (рис. 3.20).

При вакуумуванні сталі в ковші сталерозливний ківш з розплавленим металом встановлюють в камеру (рис. 3.18), в якій створюється вакуум. Вакуумна камера зазвичай має циліндричну форму, її розміри визначаються можливістю безперешкодного встановлення та видалення ковша за допомогою крана. Зверху вакуумну камеру закривають відкидною або знімною кришкою. Камера та кришка ущільнюються між собою за допомогою кільця із спеціальної термостійкої гуми. Поверхні, які при цьому ущільнюються, мають водяне охолодження. На кришці вмонтовано бункери з вакуумними шлюзами, через які до металу вводять розкислювачі та легуючі добавки.

Тривалість вакуумної обробки залежить від складу сталі складає від 10 хв. до 20 хв., а швидкість охолодження металу при цьому – від $3^{\circ}\text{C}/\text{хв.}$ до $4,5^{\circ}\text{C}/\text{хв.}$

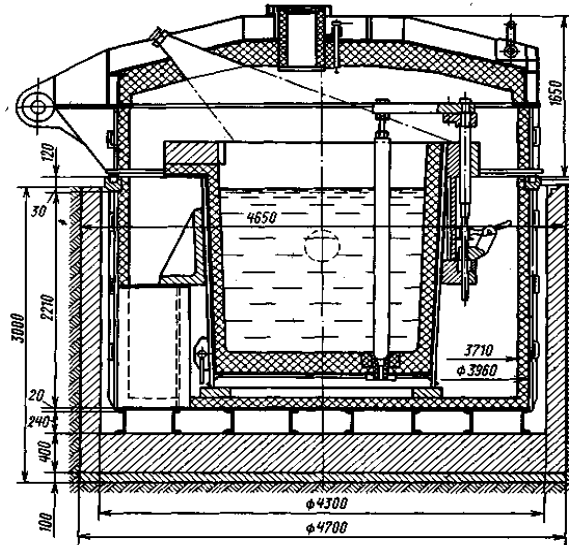
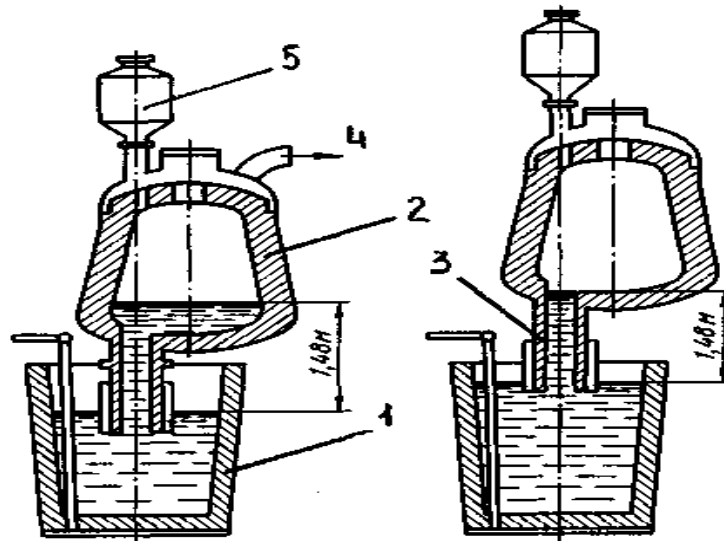


Рисунок 3.18 – Камера для вакуумної обробки сталі в ковші

Принцип роботи установки порційного вакуумування показаний на рис. 3.19. При опусканні вакуумної камери включаються вакуумні насоси і всередині неї створюється розрядження (~ 100 кПа). Метал засмоктується у вакууматор і заповнює нижню частину камери (рис. 3.19, а). Висота стовпа металу складає поряд 1,4 м. Під час вступу розплаву в розріджений простір вакуумної камери протікають реакції вакуумного вуглецевого розкислювання та дегазації. Коли виділення газів (кипіння) припиняється, вакуумна камера піднімається. Це приводить до витікання сталі з камери в ківш (рис. 3.19, б). Підняття та опускання (без повного виймання патрубків з металу і розгерметизації камери) триває до тих пір, поки не буде оброблений весь метал в ковші.

Робочий шар футерівки вакуумної камери виконується з хромомagneзитового вогнетриву. Між робочим шаром і сталевим кожухом викладають теплоізолюючий шар. Всмоктувальний патрубок із сталеві труби товщиною 15 мм усередині та футерується хромомagneзитовою цеглою,

зовні – високоглиноземистою литою масою на рідкій зв'язці. Вакуумну камеру нагрівають за допомогою графітового стрижня, який працює як елемент опору. З його допомогою температура футеровки підтримується на рівні від 1200 °С до 1400 °С.



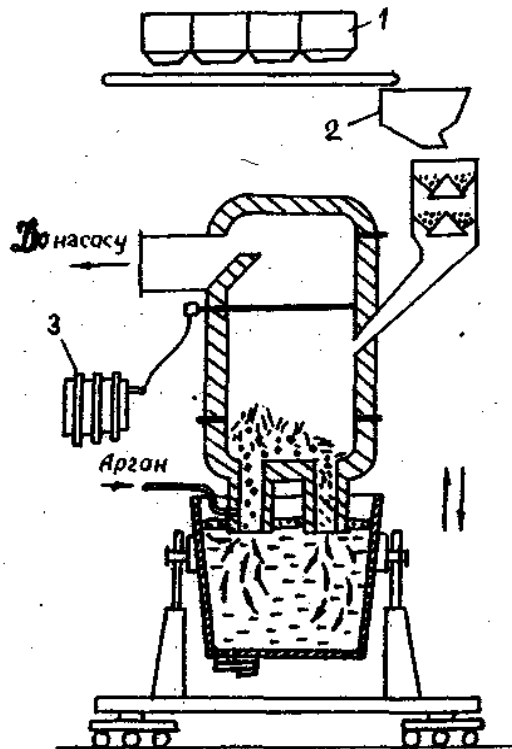
1 – виливниця; 2 – вакуумна камера; 3 – проміжна ємкість; 4 – ківш з металом;
5 – сталерозливний ківш

Рисунок 3.19 – Схема установки порційного вакуумування сталі

На відміну від установки порційного вакуумування в циркуляційній вакуумній камері є два футеровані патрубкі, по одному з яких метал засмоктується у вакуумну камеру, а по другому – витікає з неї. Патрубкі поглиблені в метал. Коли з камери починають відкачувати повітря, метал піднімається у вакуумну камеру на висоту приблизно 1,4 м і покриває нахилену подину камери. У нижню частину всмоктувального патрубка підводять аргон у якості транспортуемого газу. Аргон піднімається у всмоктувальному патрубку і захоплює за собою метал. По зливному патрубку метал стікає назад в ківш. Схема установки циркуляційного вакуумування показана на рис. 3.20.

Камера є витягнутим циліндром, який складається з двох частин, сполучених фланцями. Висота камери залежить від її місткості та складає від 8 м до 11 м. Футерівку виконують, як правило, з хромомагнетитових вогнетривів.

Всмоктувальний та зливний патрубкі мають ззовні додатковий захист з високоглиноземистої маси. Стійкість патрубків від 50 обробок до 100 обробок, подини – до 200 обробок.

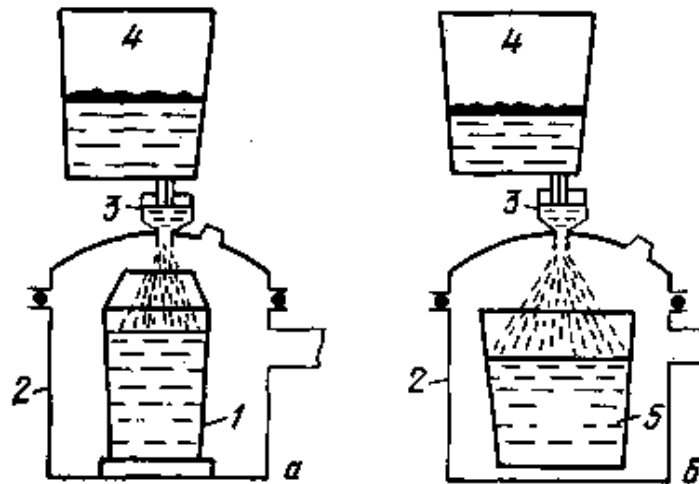


1 – бункер для феросплавів; 2 – бункер-дозатор; 3 – трансформатор

Рисунок 3.20 – Схема установки циркуляційного вакуумування сталі

Аргон подають у всмоктувальний патрубок за допомогою декількох трубок з неіржавіючої сталі, які розташовуються на двох трьох рівнях. У кожену трубку аргон подають окремо. Система підігрівання дає можливість підтримувати температуру футерівки на рівні від 1200 °С до 1400 °С. Вакууматор обладнаний системою подачі феросплавів та легуючих. Приблизно одна десята частина металу при обробці міститься у вакуумній камері. Вакуумування струменя металу може виконуватися при випуску металу із сталеплавильного агрегату в ківш, переливанні сталі з одного ковша в інший, розливці металу у виливниці. У вакуумі струмінь рідкої сталі подрібнюється на краплі та бризки газами, які знаходяться у металі. Схему установки для обробки струменя металу у вакуумі при відливанні зливків (а) та

переливанні сталі з ковша в ківш (б) показано на рис. 3.21.



а – при відливанні зливку; б – при переливі з ковша в ківш

1 – виливниця; 2 – вакуумна камера; 3 – проміжна ємкість; 4 – ківш з металом;
5 – сталерозливний ківш

Рисунок 3.21 – Установки вакуумування в струмені

Перед обробкою включають вакуумні насоси та після досягнення певного розрідження метал починають переливати в ківш, встановлений у вакуумній камері. Оптимальний ступінь дегазації досягається при переливанні металу із швидкістю порядку 25 т/хв.; тривалість переливання не перевищує 15 хв. Потрібну кількість розкислювачів та легуючих додають в метал під час обробки. Після переливання вакуумні насоси вимикають, тиск в камері підвищується до атмосферного, і ківш з металом подають на розливу [31].

Таким чином, розглянуто основне та допоміжне обладнання дугової сталеплавильної печі, машини безперервного лиття заготовок та установок для позапічної обробки сталі.

4 ОСОБЛИВОСТІ ТЕХНОЛОГІЇ ВИПЛАВКИ СТАЛІ МАРКИ Х12МФ

4.1 Технологічна схема виробництва інструментальної сталі марки Х12МФ

Відомо, що електросталеплавильний цех складається з [36]:

- шихтового прольоту, в якому встановлені шихтові ями, в яких зберігається шихта, грейферні та магнітогрейферні крани, щокові дробарки;
- пічного прольоту, в якому встановлені сталеплавильні агрегати (типу ДСП-50);
- розливного прольоту, в якому встановлені машини безперервного лиття заготовок, які приймають і готують для розливки метал.

Технологічний процес виробництва інструментальної сталі марки Х12МФ сталі виглядає наступним чином [32] (рис. 4.1).

Металева шихта (переробний чавун та металевий лом) надходять в шихтовий проліт по залізничних коліях в контейнерах, а частина розсипом. За допомогою магнітної шайби мостовим краном лом розвантажується в ямні бункера за сортами и габаритності для створення поточного запасу, потім в завалочні кошик-бадді.

Після зважування на вагах підлогових, баддя за допомогою передавального візка передається під проріз робочого майданчика пічного прольоту і завалочним краном подається в електропечі, попередньо звільнених від склепіння. Металобрухт вивантажується, а баддя повертається в шихтовий проліт за допомогою передавальної теліжки.

Баддю вводять (рис. 4.2, б [17]) в відкриту піч зверху і, розкриваючи дно, висипають шихту на подину печі. Завантаження всієї шихти виробляють однією, а іноді двома кошиками. В кошика шихту вкладають в наступній послідовності: на дно кладуть частину дрібниці, щоб захистити подину від ударів важких шматків брухту, потім в центрі укладають великий брухт, а по

периферії середній і зверху – залишився невеликий брухт. Для зменшення чаду кокс і електродний бій кладуть під шар великого брухта.

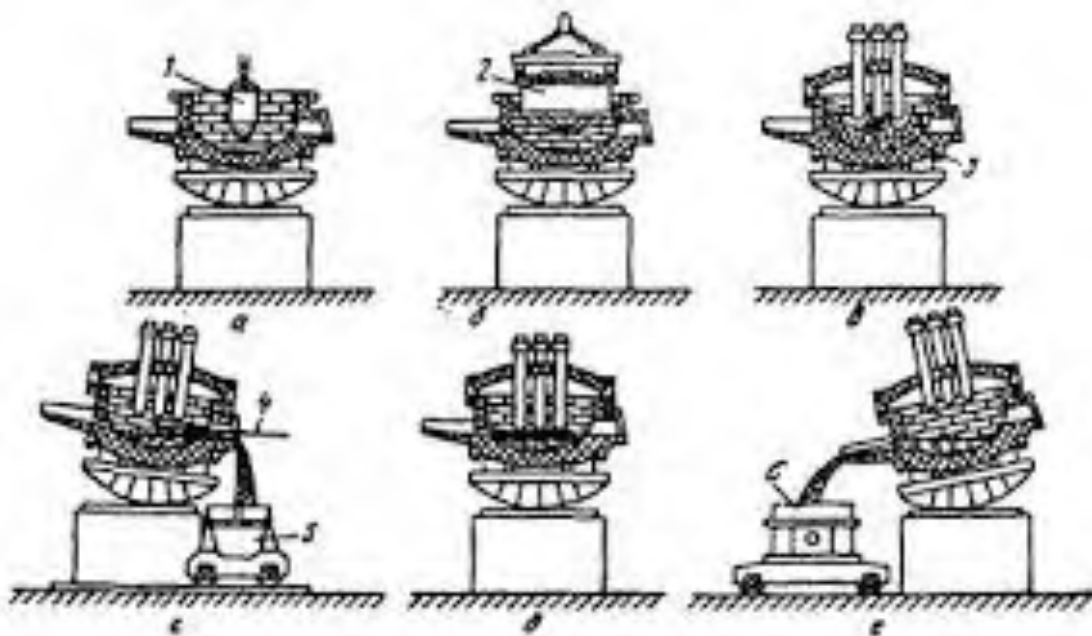


Рисунок 4.1 – Технологічна схема виробництва сталі X12МФ

Після закінчення завалювання електроди опускають майже до дотику з шихтою та включають струм. Під дією високої температури дуг шихта під електродами плавиться, рідкий метал стікає вниз, накопичуючись в центральній частині подини. Електроди поступово опускаються, проплавляючи в шихті «криниці» (рис. 4.2, в та рис. 4.2, б) і досягаючи крайнього нижнього положення.

Сипкі матеріали доставляють автотранспортом в торець бункерного прольоту в саморозвантажних контейнерах і завантажують з них матеріали в бункери за допомогою мостового крану. Шлакоутворюючі матеріали з

бункерів видаються за допомогою віброживильників в електровагових візках, які по подовжній рейковій дорозі доставляють матеріали до стрічкових завантажувальних машин. Отримавши порцію матеріалу з електровагового візка, машина по поперечній рейковій дорозі переміщається до дугової сталеплавильної печі і завантажує матеріал в піч через робоче вікно



а – заправка; б – завантаження шихти; в – плавлення; г – скачування шлаку;

д – піч після розплавлення шихти; е – випуск сталі;

1 – заправна машина; 2 – завантажувальна кошик; 3 – сталевий брухт;

4 – гребок для скачування шлаку; 5 – шлаковий ківш (чаша); 6 –

сталерозливних ківш

Рисунок 4.2 – Технологічні операції в дуговій сталеплавильній печі

Після того як матеріали розплавляються в печі, відбувається окислювальний період, завдяки якому віддаляються шкідливі елементи в розплавленому металі. Після випуску з печі напівпродукту (металу), в ківш додаються феросплави. Феросплави з бункерів, забезпечених пристроєм, що зважує, видаються в мульди, що утримуються безрейковою машиною завалення, яка спочатку встановлює мульди в прокалювальну піч, а після

транспортує мульду до електропечі і завантажує феросплави в піч через робоче вікно.

Потім відбувається скачування шлаку, а вже потім ківш встановлюється на установку позапічної обробки сталі (рис. 3.16), де відбувається рафінувальний період, тобто відбувається доведення металу до заданого хімічного складу.

Після обробки металу на установці піч-ківш (рис. 3.16), скачують шлак, потім ківш встановлюють на вакуматор (рис. 3.17), де відсмоктуються гази та віддаляються неметалеві включення. Після вакуумування, готова сталь за хімічним складом, газовими та неметалевими включеннями, відправляють за допомогою розливного крана на розливання сталі на МБЛЗ.

Готову рідку сталь випускають в сталерозливні ковші місткістю 100 т, встановлені на сталевозах, які пересуваються по поперечних широколінійних шляхах і транспортують ковші в розливний проліт.

Розливання сталі Х12МФС відбувається на машині безперервного лиття заготовок криволінійного типу (рис. 3.12). На виході з машини безперервного лиття заготовок (після тягнуть-правильної кліті) заготівля розділяється на мірні довжини за допомогою газорізки. Потім сляб маркується: за допомогою маркувальної машини наноситься на вузьку грань сляба номер плавки та номер сляба. Перед процесом обробки сляб транспортують та охолоджують. Товщина сляба знаходиться в межах від 40 мм до 400 мм, а ширина – до 3,5 м.

Отримані литі сляби використовуються для прокатки листової сталі. Технологія прокатки включає:

- підготовку заготовок до прокатки;
- визначення режиму нагріву в залежності від хімічного складу сталі і перетину заготовки;
- визначення режиму деформації (калібрування);
- охолодження сталі після прокатки;
- поопераційний і кінцевий контроль якості прокату.

Холодну прокатку використовують для тонколистових металів, гарячу -

для тонко і товстолистових.

Сталевий лист після прокатування піддається оздоблювальним операціям для надання йому товарного вигляду і необхідних властивостей. При гарячій прокатки такими операціями є правка, термічна обробка, дресирування, зняття поверхневих дефектів та інші. Подальша поперечна або поздовжня різка проводиться на автоматизованих агрегатах.

4.2 Розробка технології виплавки сталі марки X12МФ

Виплавка сталі марки X12МФ проводиться в основних дугових електропечах типу ДСП-50.

Металеву частину шихти складають металевий брухт (80%) та рідкий передільний чавун (20%).

Максимальна вага шматків шихти не повинна перевищувати 10% ваги садки печі. Кількість такої шихти-не більше 40% від ваги завалювання.

При розрахунку шихти на виплавку сталі марки X12МФ плавки шихтується з розрахунку отримання в металі після розплавлення вмісту вуглецю, що забезпечує окислення його на кіпі відповідно до заводських інструкцій (на 0,5 вище за нижню межу вмісту в марці сталі) та хрому - не більше 0,40 %; нікелю – приблизно на нижній межі з урахуванням добавок феросплавів.

Легуючі матеріали вводяться залежно від їх спорідненості до кисню і тугоплавкості. Нікель у вигляді металевого нікелю марки Н-4 не треба завантажувати під електроди, щоб уникнути великих втрат; хром марки Х97,5 завалюється на укуси; кокс – під електроди.

Для підтримки рівномірної ранньої дефосфорації металу в завантаженні вводять кускове свіжого випалу вапно.

В окислювальний період плавки відбувається дефосфорація металу, максимальне видалення з металу розчинених газів, нагрів та перегрів металу в межах від 10 °С до 15 °С вище за температуру ліквідусу та випуску плавки,

приведення металеві ванни в стандартний стан за ступенем окисленості.

Скачування шлаку повинне закінчуватися одночасно з одержанням аналізу останньої проби металу на вуглець.

Під час окислювального періоду відбираються від 3 проб до 5 проб для контролю хімічного складу металу. Загальна тривалість окислювального періоду до 60 хв.

Після скачування шлаку окислювального періоду оголений метал витримують не більше хвилини, потім наводиться рафінувальний шлак зі плавикового шпату, шамотного бою та вапна.

Тривалість присадки і плавлення шлакової суміші не повинна перевищувати 30 хв.

Після присадки плавикового шпату вводяться феромарганець марки ФМп90(РА), потім кусковий феросиліцій марки ФС65. Хром марки Х97,5 вводиться не раніше ніж через 5 хв. після осадового розкислення. Після розплавлення шлакової суміші і феросплавів ванна ретельно розмішується, відбирається проба металу на вуглець і при температурі, приблизно на 15 °С нижче температури випуску.

Тривалість відновного періоду складає до 90 хв.

Сталь марки Х12МФ піддається позапічній обробці на установці піч-ківш фірми «Danieli».

Температура металу в ковші після випуску для обробки на УПК повинна бути від 20 °С до 30 °С нижче температури розливання.

Обробка плавки на УПК може виконуватися для вирішення наступних технологічних завдань:

- рафінування металу і підготовка плавки до розливання;
- рафінування металу і підготовка плавки для подальшого вакуумування.

Вакуумування плавки здійснюється на вакуумоторі фірми «Mannesman Demag».

При виплавці плавки для вакуумування кількість окисленого вуглецю повинно бути не менше 0,3%, швидкість його окислення під час

окислювального періоду плавки не регламентується.

Температура ковша перед прийомом плавки повинна бути не менше 600 °С. Висота вільного борту ковша для вакуумування металу повинна бути не менше 1000 мм.

Рафінування металу під час випуску плавки і на УПК здійснюється за рахунок синтетичного шлаку, що утворюється з твердих шлакоутворюючих матеріалів (ТШМ) і присадок алюмінію.

Склад ТШМ наступний:

- вапно – від 75% до 80%, плавиковий шпат – від 20% до 25%;
- вапно – від 70% до 75%, корунд або глинозем – від 25% до 30%.

Злив плавки з печі проводиться як з присадкою ТШМ під час випуску, так і без присадки.

При випуску плавки з ТШМ шлакоутворюючі матеріали сідають на струмінь металу під час випуску плавки або на УПК при випуску плавки без присадки ТШМ в кількості від 7 кг/т металу до 8 кг/т металу.

В ківш до випуску або під час випуску плавки при необхідності науглецювання металу сідає порошок коксу в пакетах по 9 кг, а також феросиліцій і алюміній в такій кількості та складі при випуску неокислених напівпродукту феросиліцій сідає в межах від 0,25 % до 0,30 % кремнію за розрахунком і кусковий алюміній при виплавці сталей з вмістом алюмінію в марці менше 0,015% кількість сідаємо алюмінію під час випуску зменшується до 0,2 кг/т в металі.

Температура випуску плавки розраховується з урахуванням наступних параметрів:

- втрати температури під час випуску від 30 °С до 40 °С в залежності від температури навколишнього повітря;
- втрати температури на розплавлення шлакової суміші (ТШМ) – 6 °С на 100 кг шлакоутворюючих.

Температура металу в ковші після випуску для обробки на УПК повинна бути в межах від 20 °С до 30 °С нижче температури розливання, для

вакуумування (після УПК) – температура може бути рівної температурі розливання або до 50°C вище.

Для більш швидкого формування шлаку з ТШМ і поліпшення умов десульфурзації металу рекомендується випуск плавки в ківш виробляти з одночасною продувкою металу аргоном з регулюванням його подачі з візуальних ознаками в режимі активного перемішування розплаву і шлаку, що виключає перелив металу і шлаку через борт ковша.

Ківш з плавкою встановлюється на сталевоз, підключається аргонопроводів, встановлюється витрата аргону від 200 л/хв. до 600 л/хв. і починається продувка плавки.

Якщо плавка випускалася з печі без присадки ТШМ або шлак після випуску повністю завантажений з ковша, то новий шлак наводиться на УПК присадкою шлакоутворюючих. При підвищеному вмісті сірки в металі проводиться додаткова присадка шлакоутворюючих.

Якщо на початку обробки на УПК в ківш сідають феросплави і шлакоформуєчі, то через 8 хв. роботи установки, але не раніше ніж через 5 хв. після присадки останньої порції матеріалів відбирається проба металу на хімічний аналіз, заміряється температура.

При вирішенні задачі рафінування металу та підготовки плавки до розливання максимальну кількість шлакоутворюючих дають в ківш під час випуску плавки або під час обробки плавки на КПК, не рекомендується мати більше 1000 кг.

Вміст окислів в шлаку в кінці обробки плавки на КПК має бути: СаО - не менше 50,0 % MgO – не більше 15,0 % FeO – не більше 1,5 %.

Кількість легуєчих матеріалів, що даються на УПК не повинно перевищувати 2-х т.

Вміст алюмінію під час обробки плавки на УПК має бути на рівні середньорекомендованого вмісту марки, цей вміст зберігається за допомогою періодичних присадок в метал кускового алюмінію на штангах. Рекомендується розкислення шлаку гранульованим алюмінієм від 1 прийому до 2 прийомів в

межах від 0,15 кг/т до 0,2 кг/т.

Після отримання результатів хімічного аналізу за необхідністю йде коригування плавки за хімічним складом. Після коригування за хімічним складом дають модифікатори.

Після виконання всіх операцій з обробки плавки на УПК проводиться вимір температури.

Температура металу повинна відповідати температурі розливання. За відповідності температури металу в ковші температурі розливання відключається подача аргону і плавка передається на вакуумування.

Перед віддачею плавки на вакууматор температура металу в ковші повинна бути в межах від 60 °С до 100 °С вище температури розливання.

При кількості шлаку в ковші, що перевищує межу від 8 кг/т металу до 9 кг/т металу (500 кг), перед передачею плавки на вакууматор проводиться підкачування шлаку з ковша. Ківш з металом подається до вакууматору, до нього підключається аргонопроводи і ківш опускається в камеру.

До початку вакуумування за результатами аналізу проб, відібраних в кінці обробки на УПК, здійснюється коректування плавки за хімічним складом (при необхідності).

Після установки ковша в камеру при витраті аргону до 70 л/хв. закривається кришка і починається вакуумування. Швидкість набору вакууму і витрата аргону регулюються таким чином, щоб не допустити надмірно інтенсивного спінювання розплаву в ковші з вихлюпування металу і шлаку через борт ковша.

Робочий режим вакуумування плавки:

- залишковий тиск в камері від 1 мбар до 1,5 мбар;
- витрата аргону не менше 150 л/хв.

При цих параметрах плавка повинна вакуумуватися не менше 12 хв., після 10 хв. вакуумування плавки (під час процесу) на шлак сідає дрібно фракційний алюміній в кількості 15 кг.

За період від 1 хв. до 1,5 хв. до кінця вакуумування проводиться зменшення витрат аргону до 20 л/хв. Після закінчення процесу вакуумування проводиться відключення вакуумних насосів і здійснюється заповнення камери повітрям. Після заповнення камери повітрям витрата аргону встановлюється в межах від 10 л/хв. до 30 л/хв. з тим, щоб продування розплаву здійснювалася без оголення металу («м'яка» продувка).

Після завершення процесу вакуумування проводиться «м'яке» продування розплаву аргонем не менше 10 хв., Проводиться вимір температури металу і визначення вмісту водню в сталі за допомогою системи Хайдріс. Яке повинно бути не більше 2 ррт. Після закінчення вакуумування плавки або повного циклу обробки плавки на вакууматор відбирається проба шлаку для аналізу.

Вміст окислів в шлаку повинен бути: СаО – не менше 55,0 % MgO – не більше 15,0 % FО – не більше 0,8 %

Температура металу в ковші перед розливанням після обробки металу на вакууматорі повинна бути на 10°С нижче відповідної температури.

В разі зниження температури металу нижче температури розливки плавка передається на УПК для відповідного підігріву металу з одночасною продувкою розплаву аргонем в режимі «м'якої» обробки, після чого плавка повторно вакуумують протягом від 5 хв. до 7 хв. Після цього ківш з металом передається на розливу сталі [21].

Таким чином, запропоновано технологічну схему виробництва інструментальної сталі марки Х12МФ, розроблено технологію її виплавки в дуговій сталеплавильній печі типу ДСП-50 методом повного окислення з подальшою позапічної обробкою.

5 ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ІНОКУЛЯТОРІВ НА РОЗПОРОШЕННЯ ЛИТОЇ СТРУКТУРИ СТАЛІ Х12МФ

5.1 Напрямки поліпшення структури та властивостей електрошлакового зливка

Підвищення вимог споживачів до службових характеристиках виробів з інструментальних сталей ледебуритного класу викликає необхідність металургів розробляти та впроваджувати технології, що дозволяють впливати на подрібнення зерна, зменшення фізико-хімічної і структурної неоднорідності литого металу. При дослідженні впливу інокуляторів на розпорошення литої структури сталі Х12МФ.

Відомо, що властивості міцності ледебуритних сталей поліпшуються пропорційно зменшення розмірів зерна та підвищення однорідності розподілу карбідів. Згідно даними [37] при зниженні розмірів зерна на один бал міцність сталей У12 і Р18 при незмінному розподілі карбідів збільшується в межах від 200 МПа до 300 МПа. А підвищення карбідної неоднорідності деформованого металу на один бал викликає зниження міцності в межах від 15% до 20% та в'язкості в межах від 30 % до 50 %. Тому розпорошення литої структури необхідно для створення високої міцності.

Первинні або евтектичних карбідів в ледебуритних сталях розподіляються в металевій матриці нерівномірно і значно розрізняються за розмірами і формою. Широкий температурний інтервал затвердіння та відмінність в щільності фаз, що кристалізуються, в цих сталях сприяють формуванню карбідної неоднорідності. У процесі затвердіння по межах зерен твердого розчину утворюється аустеніто-карбідна евтектика, морфологія якої значною мірою залежить від швидкості кристалізації. Так, наприклад, в сталях Р6М5Ф3-МП, Х12МФ-МП та інших, отриманих способом порошкової металургії, внаслідок високої швидкості охолодження (від 10^4 °С/с до 10^5 °С/с) розміри карбідів надзвичайно дрібні (до меж від 2 мкм до 3 мкм), а в сталі звичайного виробництва або ЕШП від 8 мкм до 20 мкм [37].

Управління затвердіння металу є важливим і актуальним завданням сучасної спеціальної електromеталургії, оскільки саме в період затвердіння відбувається формування структурних зон, сегрегація неметалевих включень, утворення ліквационної неоднорідності, що не усуваються на наступних переділах [38].

Здатність до зародкоутворення може бути значно підвищена зовнішнім впливом на параметри кристалізації металу за рахунок створення готових центрів кристалізації в твердне розплаві [39].

Перспективним напрямком поліпшення структури та властивостей електрошлакового зливка є введення в розплав інокуляторів (ізоморфних мікрочастинок-холодильників), які підвищують ступінь переохолодження розплаву і створюють умови для утворення дрібнодисперсної структури злитка або виливки [40].

Відомі способи впливу на кристалічну структуру сплавів, пов'язані із застосуванням модифікаторів з ізоморфних кристалів того ж металу [40, 41].

5.2 Дослідженні структури зливка діаметром 300 мм сталі X12MФ-Ш, виплавленого з введенням інокуляторів в процесі ЕШП

При дослідженні впливу інокуляторів на розпорощення литої структури сталі X12MФ ставилися наступні завдання:

- провести експериментальні дослідження впливу введення інокуляторів в металеву ванну в процесі електрошлакового переплаву (ЕШП) на структуру промислових зливків сталі X12MФ-Ш;
- виконати кількісну оцінку параметрів сітки евтектичних карбідів;
- визначити вплив інокуляторів на процес ЕШП та техніко-економічні показники плавки.

Роботу виконували на ПАТ «Дніпроспецсталь». Електрошлаковий переплав електродів діаметром 175 мм сталі X12MФ проводили на печі ОКБ +1065 в кристалізаторі діаметром 300 мм зі застосуванням флюсу марки АНФ-6. Введення гранул інокуляторів в металеву ванну виконували в процесі ЕШП

дозатором «Доза-4». Дозатор складається з чотирьох обертових барабанів, обладнаних дозуючими пристроями (живильниками) щілинного типу, встановлених над бункером конічної форми, і призначений для подачі порошкоподібних, гранульованих легуючих матеріалів та розкислювачів в металеву ванну в процесі ЕШП.

Інокулятори представляли собою ізоморфні гранули сталі Х12МФ діаметром від 0,8 мм до 1,2 мм, виготовлені розпиленням розплаву азотом за технологією цеху порошкової металургії ПАТ «Дніпроспецсталь». Якість гранул відповідало вимогам для виготовлення пресовок. Характерною особливістю інокуляторів є їх дрібнодисперсна структура (рис. 5.1), а також низький вміст неметалевих включень, що забезпечується способом виробництва та високою швидкістю кристалізації при отриманні гранул.

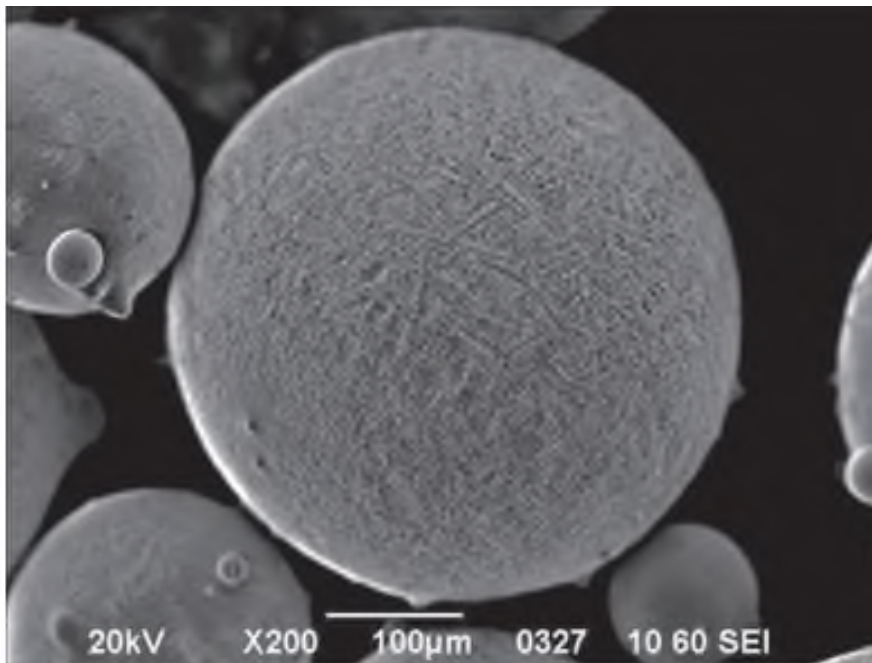


Рисунок 5.1 – Дендритна структура гранул інокуляторів сталі Х12МФ

Дослідну роботу проводили згідно з вимогами заводських технологічних інструкцій за наступною схемою:

– вихідний метал для ЕШП сталі Х12МФ виплавляли в 50-тонних електродугових печах з обробкою на УПК та розливкою в зливки вагою вилівка 1, 0 т. Потім попередньо відпалені зливки кували в ковальському цеху

на електроди діаметром по 175 мм;

– електрошлаковий переплав електродів діаметром 175 мм виконували за стандартними електричним режимам відповідно до вимог діючої технології.

В процесі ЕШП виконали п'ять варіантів введення інокуляторів за розрахунком від масової швидкості сплаву електрода: 0% (стандартна технологія), 10 %, 20 %, 30 % та 50 %. Фактично при виплавці дослідних зливків інокуляторів було внесено трохи більше.

За другим варіантом – 16,8 кг (13 %); за третім – 29,7 кг (23 %); за четвертим – 43,6 кг (34 %); за п'ятим – 70,4 кг (55 %). Лінійну швидкість сплаву електрода за кожним варіантом фіксували за допомогою електронного пристрою контролю швидкості сплаву електрода ЛМ. 1790-1 РЕ розробки ПАТ «Дніпроспецсталь», а також за кожним варіантом фіксували глибину металевої ванни занедбаністю вольфрамової крупки. Процес ЕШП дослідних варіантів проходив стабільно, без відхилень від заданого режиму плавлення. При внесення в металеву ванну близько 60% інокуляторів від масової швидкості сплаву електрода зафіксовані кидки робочого струму до 1 кА з переходом плавки в нестабільний режим.

За результатами проведених плавок встановлено, що зі збільшенням витрати вводяться інокуляторів масова швидкість сплаву електрода знижується з 3,1 кг/хв. до 2,0, тобто на 32 %.

У той же час сумарна продуктивність процесу ЕШП за рахунок додавання інокуляторів збільшується від 13 % до 55 %. Витрата електроенергії з урахуванням маси доданих гранул зменшилася від 8 % до 16 % та знаходилася в межах від 1345 кВт·год./т до 1470 кВт·год./т. При виплавці зливка діаметром 300 мм і масою 1,0 т середня витрата електроенергії за стандартною технологією становив 1600 кВт·год./т.

Один з дослідних зливків представлений на рис. 5.2, з якого видно, що його поверхня гладка, гофри та перетискання відсутні.

Дослідження макроструктури проводили на поздовжніх темплетях, вирізаних по осі зливка. Макроструктуру отримали щільну, однорідну, без дефектів ліквацийного характеру (рис. 5.3). На рис. 5.4 представлений

макротемплет з усадкою по п'ятому варіанту переплаву. Видно, що дефектів усадочного характеру немає, висота усадкової раковини від торця зливка 20 мм (по масі 15 кг). Нижче усадки макроструктура в зливку, отриманому з введенням інокуляторів, щільна і однорідна. За стандартною технологією величина головної обрізі становить по висоті зливка 90 мм (50 кг). Це дає підставу і можливість зниження головної обрізі в межах від 20 кг до 30 кг (від 40 до 60 %) [43]. Дія інокуляторів позитивно позначилося на глибині металеві ванни. Глибина зафіксованої металеві ванни в осьовій частини зливка за п'ятим варіантом виплавки склала 80 мм (рис. 5.3), що в 1,5 рази менше глибини ванни в зливку, що отримується за діючою технологією.



Рисунок 5.2 – Зливка ЕШП сталі X12MФ-Ш діаметром 300 мм, який виплавлений з введенням інокуляторів у процесі ЕШП

Зразки для кількісної оцінки параметрів сітки евтектичних карбідів відбирали з центру, на половині радіуса і від краю зливків по кожному варіанту виплавки. Оцінку зміни параметрів сітки евтектичних карбідів проводили з використанням комп'ютерної металографії – програмно-апаратного комплексу «Відеотест-Метал» на базі оптичного мікроскопа «ZEISS Axiovert 200MAT»

при 50-кратному збільшенні.



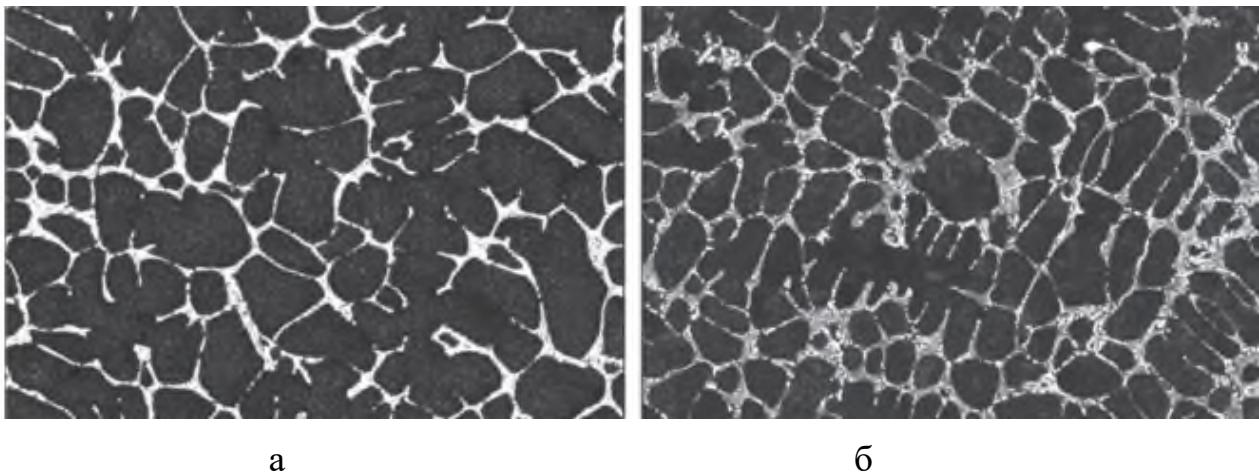
Рисунок 5.3 – Макроструктура та глибина металевої ванни зливка діаметром 300 мм сталі Х12МФ-Ш, виплавленого з введенням інокуляторів в процесі ЕШП (п'ятий варіант виплавки)



Рисунок 5.4 – Макроструктура з глибиною усадковою раковиною 20 мм головної частини зливка діаметром 300 мм сталі Х12МФ-Ш, виплавленого з введенням інокуляторів в процесі ЕШП (п'ятий варіант виплавки)

Хімічний склад визначали спектральним методом. Отримані дані наведені в табл. 5.1. Встановлено, що зміна хімічного складу сталі X12МФ при ЕШП з введенням інокуляторів аналогічні змінам при переплаву застандартною заводською технологією. Хімічний склад отриманого металу ЕШП відповідає вимогам ТУ ДСС 003.

В результаті кількісних металографічних досліджень встановлено, що найбільший ефект диспергування литої структури зливка діаметром 300 мм досягнутий при введенні в металеву ванну 55 % інокуляторів від масової швидкості сплаву витрачається електрода (рис. 5.5). Зокрема, площа осередків евтектичних карбідів в середньому зменшилася в центрі зливка на 37 %, в області половини радіуса – на 41 %, у крайовій зоні – на 22 % в порівнянні з структурою серійного зливка.



а – без введення інокуляторів; б – з введенням 55 % інокуляторів, $\times 50$

Рисунок 5.5 – Будова сітки евтектичних карбідів осьової частини зливка діаметром 300 мм сталі X12МФ-Ш

Вплив інокуляторів на розпорощення литої структури більшою мірою проявляється в центрі та на половині радіуса зливка.

Зменшення середньої площі осередків в залежності від розходу інокуляторів в центрі зливка склало від 24 % до 37 %, на половині радіуса – від 2 % до 41 %, у крайовій зоні – від 2 % до 22 %.

Введення інокуляторів в кількості 13% чинить найменший вплив на

зменшення осередків карбідів. У центрі зливка площа осередків зменшилася на 24%, на половині радіуса і в крайовій зоні – на 2 %.

Введення інокуляторів в кількості 13 і 23 % надає менш ефективний вплив на розміри сітки евтектичних карбідів (в порівнянні з 55 %) і зменшує площу осередків в центрі зливка від 29 % до 33 %, в області половини радіуса – в межах від 21 % до 34 % і в крайовій зоні – в межах від 13 % до 18 %. Ефект від ЕШП з інокуляторами (зменшення розміру осередків) в крайовій зоні найменший. Це пояснюється порівнянним дисперуючої дії існуючої системи охолодження на периферію зливка [42].

Таким чином, при дослідженні впливу інокуляторів на розпорошення литої структури сталі X12МФ встановлено, що введення в металеву ванну в процесі ЕШП ізоморфних гранул інокуляторів забезпечує:

- подрібнення осередків евтектичною сітки на 41 %;
- зменшення глибини металевої ванни в 1,5 рази;
- можливість зниження головний обрізу в межах від 40 % до 60 %;
- економію електроенергії від 8 % до 16 %.

Таблиця 5.1 – Хімічний склад сталі X12МФ (електродів, інокуляторів) та зливка сталі X12МФ-Ш

| Хімічний склад сталі X12МФ (електродів, інокуляторів) та зливка сталі X12МФ-Ш, мас. % | | | | | | | | | |
|---|---------------|---------------|------|-------|-------|---------------|---------|---------|-------|
| Показник | C | Mn | Si | P | S | Cr | Mo | V | Al |
| Електрод, що витрачається | 1,54 | 0,26 | 0,32 | 0,025 | 0,005 | 11,21 | 0,74 | 0,96 | 0,028 |
| Інокулятори | 1,50 | 0,27 | 0,36 | 0,027 | 0,012 | 11,15 | 0,75 | 0,95 | 0,03 |
| Метал ЕШП | 1,57 | 0,26 | 0,28 | 0,025 | 0,003 | 11,17 | 0,74 | 0,93 | 0,013 |
| Вимоги ТУ ДСС 003 (DIN EN ISO 4757) | 1,50- 1,60 | 0,15- 0,45 | 0,10 | 0,03 | 0,015 | 11,0- 13,0 | 0,7-1,0 | 0,7-1,0 | - |

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Аналіз сортаменту сталей, що виплавляються на сьогоднішній день, показав, на актуальність виплавки інструментальних марок сталей, зокрема, марки Х12МФ для виробництва ножів, волоків, волочильних дощок, згинальних і формувальних штампів.

2. Огляд способів виплавки інструментальних сталей показав, що їх доцільно виплавляти наступними методами: виплавою з повним окисленням, методом електрошлакового переплаву, методом вакуумно-дугового переплаву, методом одношлакового процесу. Визначено, що сталь марки Х12МФ з точки зору технологічності процесу, отримання більш якісного металу доцільно виплавляти в дугових сталеплавильних печах методом повного окислення домішок.

3. Розглянуто основне та допоміжне обладнання дугової сталеплавильної печі, машини безперервного лиття заготовок та установок для позапічної обробки сталі, приведено розрахунок геометричних параметрів ДСП-50, кількості ДСП-50 та МБЛЗ для сталеплавильного цеху.

4. Запропоновано технологічну схему виробництва інструментальної сталі марки Х12МФ, розроблено технологію її виплавки в дуговій сталеплавильній печі типу ДСП-50 методом повного окислення з подальшою позапічної обробкою.

5. При дослідженні впливу інокуляторів на розпорощення литої структури сталі Х12МФ встановлено, що введення в металеву ванну в процесі ЕШП ізоморфних гранул інокуляторів забезпечує:

- подрібнення осередків евтектичною сітки на 41 %;
- зменшення глибини металеві ванни в 1,5 рази;
- можливість зниження головний обрізу в межах від 40 % до 60 %;
- економію електроенергії від 8 % до 16 %.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Чорна металургія світу. URL: <https://mozok.click/2377-chorna-metalurgya-svtu.html> (дата звернення: 04.04.2022).
2. Модернізація металургійної галузі України: цілі, напрямки та інвестиційна підтримка. URL: http://www.ej.kherson.ua/journal/economic_27/1/13.pdf (дата звернення: 04.04.2022).
3. Бізнес в офіційних цифрах. Рейтинг. URL: <https://rating.zone/ekonomichnyjohliad-metalurhijnoi-haluzi-ukrainy/> (дата звернення: 04.04.2022).
4. Пріоритети та важелі модернізації металургійної галузі України. Аналітична записка. URL: <https://niss.gov.ua/doslidzhennya/ekonomika/prioriteti-ta-vazheli-modernizacii-metalurgiynoi-galuzi-ukraini-analitichna> (дата звернення: 04.04.2022).
5. Мордасов Д. М., Зотов С. В. Термоциклическая обработка штаммов для работы в условиях горячего деформирования из стали X12МФ. *Вестник ТГТУ*. 2016. Т 22. № 3. С. 481–490. DOI: 10.17277/vestnik.2016.03.pp.481–490
6. Характеристики и марки инструментальных сталей. URL: <http://metall.org/stal/harakteristiki-i-marki-instrumentalnyh-stalej.html> (дата звернення: 04.04.2022).
7. Инструментальная сталь. URL: <http://www.4ne.ru/stati/derevoobrabatyvayushhie-stanki/instrument-i-oborudovanie/instrumentalnaya-stal.html> (дата звернення: 04.04.2022).
8. Сталь инструментальная штамповая. URL: <http://enginiger.ru/materials/instrumentalnaya-shtampovaya-stal-instrumentalnaya-shtampovaya/> (дата звернення: 04.04.2022).
9. Штамповая сталь. URL: <http://structure.by/index.php/studentam/splavy/120-shtampovaya-stal> (дата звернення: 04.04.2022).

10. Штамповая сталь. URL: <http://www.renal-d.com/ru/shtampovaya-stal.html> (дата звернення: 04.04.2022).

11. ГОСТ 5950–2000. Прутки, полосы и мотки из инструментальной легированной стали. Общие технические условия ; принят Межгосударственным советом по стандартизации, метрологии и сертификации (протокол N 17 от 22 июня 2000 г.) ; введён 01.01.2002 г. Минск : Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 2004. 132 с.

12. Марочник сталей и сплавов / В. Г. Сорокин и др. ; под. общ. ред. В.Г. Сорокина. Москва : Машиностроение, 1989. 240 с.

13. Сталь X12MФ. Состав и свойства. URL: <https://www.zat24.com/2018/02/stal-kh12mf-sostav-i-svoystva.html> (дата звернення: 04.04.2022).

14. Сталь X12MФ. URL: <https://klinok.zlatoff.ru/stal-h12mf> (дата звернення: 04.04.2022).

15. Сталь марки X12MФ. URL: https://metallicheskiy-portal.ru/marki_metallov/sti/X12MF (дата звернення: 04.04.2022).

16. Сталь X12MФ: характеристики, расшифровка, химический состав. URL: <https://metal.place/ru/wiki/kh12mf/> (дата звернення: 04.04.2022).

17. Воскобойников В. Г., Кудрин В. А., Якушев А. М. Общая металлургия : учебн. для вузов. Москва : ИКЦ «Академкнига», 2005. 768 с.

18. Воденніков С. А., Галицький Ю. П., Воденнікова О. С. Теорія та технологія електросталеплавильного виробництва : навч. посібн. Запоріжжя : ЗДІА, 2010. 246 с.

19. Основи металургійного виробництва металів і сплавів : підручн. / Д. Ф. Чернега та ін.; за ред. Д.Ф. Чернеги, Ю.Я. Готвянського. Київ : Вища шк., 2006. 503 с.

20. Кудрин В. А. Теория и технология производства стали : учебн. для ВНЗ. Москва: Металлургия, 1981. 488 с.

21. Сборник технологических инструкций по выплавке стали в открытой

дуговой печи. Запорожье : ОАО «Днепроспецсталь», 2004. 246 с.

22. ГОСТ 1415-93 (ИСО 5445-80). Межгосударственный стандарт. Ферросилиций. Технические требования и условия поставки ; принят Межгосударственным Советом по стандартизации, метрологии и сертификации от 19.09.1993 г. №4 и введён в действие с 01.07.1997 г. Минск : ИПК издательство стандартов, 1996, Стандартиформ, 2005. 8 с.

23. ГОСТ 4755-91 (ИСО 5446-80). Ферромарганец. Технические требования и условия поставки; утверждён и введён в действие Постановлением Комитета стандартизации и метрологии СССР от 29.12.1991 г. №2306 ; действует с 01.01.1997. Москва : Издательство стандартов, 1992, Стандартиформ, 2007. 6 с.

24. ГОСТ 5905-2004. Хром металлический. Технические условия и условия поставки ; принят Межгосударственным советом по стандартизации, метрологии и сертификации (протокол №25 от 26.05.2004 г.); действует с 01.07.1999. Минск : ИПК Издательство стандартов, 2004, Стандартиформ, 2006. 9 с.

25. ГОСТ 849-2008. Никель первичный. Технические условия; принят Межгосударственным советом по стандартизации, метрологии и сертификации (протокол №33 от 06.06.2008 г.) ; действует с 01.07.1999. Москва : Стандартиформ, 2008, Стандартиформ, 2011. 12 с.

26. ГОСТ 4759-91. Ферромолибден. Технические требования и условия поставки; утверждён и введён в действие Постановлением Комитета стандартизации и метрологии СССР от 29.12.1991 №2353; действует с 01.01.2003. Москва: Издательство стандартов, 1992, Стандартиформ, 2006. 5 с.

27. ГОСТ 27130 – 94. Феррованадий. Технические требования и условия поставки; принят Международным советом по стандартизации, метрологии и сертификации от 21.10.1994 протокол №6 ; действует с 01.01.2006. Москва : ИПК Издательство стандартов, 1992, ИПК Издательство стандартов, 2002, Стандартиформ, 2008. 10 с.

28. ГОСТ 5950 – 2000. Прутки, полосы и мотки из инструментальной легированной стали. Общие технические условия ; принят Международным советом по стандартизации, метрологии и сертификации от 22.06.2000г. протокол №17. Москва : ИПК Издательство стандартов, 2000. 40 с.

29. В мире металлургии. URL: <http://steeltimes.ru/allmet/allmet.php> (дата звернення : 04.04.2022).

30. Электродугова піч. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%95%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%B4%D1%83%D0%B3%D0%BE%D0%B2%D0%B0_%D0%BF%D1%96%D1%87 (дата звернення: 04.04.2022).

31. Воденніков С. А., Тарасов В. К., Воденнікова О. С. Конструкція агрегатів чорної металургії : навч.-метод. посібн. для студентів ЗДІА спеціальностей 7.05040101, 8.05040101 «Металургія чорних металів». Запоріжжя : ЗДІА, 2011. 192 с.

32. Непрерывная разливка стали. URL: <http://uas.su/books/mnlz/mnlz.php> (дата звернення: 04.04.2022).

33. Воденніков С. А., Падалка В. П., Воденныкова О. С. Технологія розливання і кристалізації сталі : навч.-метод. посібн. Запоріжжя : ЗДІА, 2011. 188 с.

34. Процессы перерывной розливки : монография / А. Н. Смирнов и др. Донецк : ДонНТУ, 2002. 536 с.

35. Огурцов А. П., Величко А. Г., Исаев А. В., Гресс А. В. Непрерывная разливка стали : учеб. пособ. Днепродзержинск: ДГТУ, 1999. 306 с.

36. Гладких В. А., Гасик М. И., Овчарук А. И., Пройдак Ю. С. Проектирование и оборудование электросталеплавильных и ферросплавных цехов : учебн. для вузов ; 2-е изд., доп. и уточнен. Днепропетровск : Системные технологии, 2009. 736 с.

37. Геллер Ю. А. Инструментальные стали ; 5-е изд. Москва: Металлургия, 1983. 526 с.

38. Патон Б. Е., Лакомский В. И., Григоренко Г. М., Медовар Л. Б.

Специальная электрометаллургия : полвека в действии. Что дальше?
Современная электрометаллургия. 2003. №04. С. 3–7.

39. Голубцов В. А., Лунев В. В. Модифицирование стали для отливок и слитков. Запорожье : ЗНТУ, 2009. С. 356 с.

40. Медовар Б. И., Цыкуленко А. К., Дяченко Д. М. Качество электрошлакового металла: монография; под ред. Б. Е. Патона, Б. И. Медовара; АН УССР, Ин-т электросварки им. Е. О. Патона. Киев: Наукова думка, 1990. 311 с.

41. Попов В. С., Билоник И. М., Бережный С. П., Капустян А. Е. Улучшение структуры и свойств литых инструментальных сталей при электрошлаковой выплавке с инокуляторами. *Современная электрометаллургия*. 2004. № 2. С. 8–9.

42. Исследование влияния инокуляторов на диспергирование литой структуры стали X12МФ-Ш / С. В. Давидченко и др. *Современная электрометаллургия*. 2018. № 2 (131). С. 13–18. DOI: <https://doi.org/10.15407/sem2018.02.01>