

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

Кафедра металургії
(повна назва кафедри)

Кваліфікаційна робота / проєкт

перший (бакалаврський) рівень
(рівень вищої освіти)

на тему Аналіз техніко-економічних особливостей виробництва
конструкційної легированої сталі

Виконав: студент 3С курсу, групи 6.1369-ММ-С
спеціальності 136 «Металурія»
(код і назва спеціальності)

освітньої програми Металурія

(код і назва освітньої програми)

спеціалізації

(код і назва спеціалізації)

Є.І. Лисенко
(ініціали та прізвище)

Керівник доц. каф. металургії

канд. техн. наук О.С. Воєнічкова

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

Рецензент доц. каф. металургії

канд. техн. наук О.Р. Березня

(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 металургії

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

Спеціальність 136 <<Металургія>
(шифр / назва)

Спеціалізація _____
(шифр і назва)

Освітня програма Металургія
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри металургії
В. П. Кириченко

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ (ПРОЄКТ) СТУДЕНТОВІ (СТУДЕНТЦІ)

Лисенко Євгену Івановичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

Тема роботи (проєкту) Аналіз техніко-технологічних особливостей виробництва конструкційної легированої сталі

Рівень роботи канд. техн. наук, доцент Воєннікова Оксана Сергіївна
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ЗНУ від "17" січня 2022 року № 90-с

Строк подання студентом роботи 18.06.2022

Вихідні дані до роботи Науково-технічна література, статті у фахових виданнях, матеріали конференцій, патенти, ГОСТи та ДСТУ

Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

Вступ. Скорочення та умовні позначки. Загальна характеристика та властивості сталі марки 30ХГСА. Вклад методів виплавки конструкційних сталей у підвищення вимог до якості конструкцій дугових сталевих легированої легі. Особливості металургічного виплавки сталі марки 30ХГСА. Аналіз структури та властивостей сталі 30ХГСА в процесі обробки. Освідчення структури та властивостей сталі 30ХГСА після лазерно-плазмового азотування та наконструктурування. Загальні висновки. Перелік джерел посилання.

Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

Титульний лист - 1. Мета роботи. Завдання роботи - 1. Методи виплавки конструкційних сталей в електросталеплавильних печах. Кінематичний склад сталі 30ХГСА - 1. Механічні властивості сталі 30ХГСА - 1. Аналіз техніко-технологічного циклу виробництва електросталі - 1. Загальний вид ДСТУ-50 - 1. Правильний простір та форма ДСТУ-50 - 1. Технічний вигляд виробництва сталі 30ХГСА - 1. Машинна безперервна лінійна заготовка криволинійного перерізу - 1. Структура сталі 30ХГСА в процесі обробки - 1. Структура та властивості сталі 30ХГСА після лазерно-плазмового азотування та наконструктурування - 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 30ХГСА	доцент О.С. Воденнікова	12.02.2022 р. <i>О.Вод</i>	14.02.2022 р. <i>О.Вод</i>
2. Огляд методів виплавки конструктивних сталей підвищеними висотами докості	доцент О.С. Воденнікова	17.02.2022 р. <i>О.Вод</i>	14.02.2022 р. <i>О.Вод</i>
3. Конструкція дугової сталелитевальної печі	доцент О.С. Воденнікова	14.02.2022 р. <i>О.Вод</i>	14.02.2022 р. <i>О.Вод</i>
4. Особливості технології виплавки сталі марки 30ХГСА	доцент О.С. Воденнікова	17.02.2022 р. <i>О.Вод</i>	17.02.2022 р. <i>О.Вод</i>
5. Аналіз структури та властивостей сталі 30ХГСА в процесі обробки	доцент О.С. Воденнікова	17.02.2022 р. <i>О.Вод</i>	17.02.2022 р. <i>О.Вод</i>
6. Дослідження структури та властивостей сталі 30ХГСА після лазерно-плазмового з'єднання та конструктивних	доцент О.С. Воденнікова	14.02.2022 р. <i>О.Вод</i>	14.02.2022 р. <i>О.Вод</i>

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи магістра	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Скорочення та умовні позначки. Вступ.	2.05.22 - 3.05.22	
2	Розділ 1	4.05.22 - 12.05.22	
3	Розділ 2	13.05.22 - 20.05.22	
4	Розділ 3	20.05.22 - 26.05.22	
5	Розділ 4	26.05.22 - 31.05.22	
6	Розділ 5	1.06.22 - 7.06.22	
7	Розділ 6	8.06.22 - 12.06.22	
8	Загальні висновки. Перелік джерел посилання	13.06.22 - 15.06.22	
9	Графічна частина	16.06.22 - 17.06.22	

Студент _____ *[підпис]* _____ *Е.І. Івченко* (ініціали та прізвище)

Керівник роботи (проєкту) _____ *[підпис]* _____ *О.С. Воденнікова* (ініціали та прізвище)

Нормоконтроль пройдено _____

Нормоконтролер _____ *[підпис]* _____ *О.Г. Кириченко* (ініціали та прізвище)

РЕФЕРАТ

Розрахунково-пояснювальна записка: 75 с., 24 рис., 11 табл., 38 джерел посилання.

КОНСТРУКЦІЙНА СТАЛЬ, ДУГОВА СТАЛЕПЛАВИЛЬНА ПІЧ, ТЕХНОЛОГІЯ ВИПЛАВКИ СТАЛІ, ТЕРМІЧНА ОБРОБКА СТАЛІ, СТРУКТУРА ТА ВЛАСТИВОСТІ СТАЛІ

Тема кваліфікаційної роботи бакалавра: Аналіз технологічних особливостей виробництва конструкційної легованої сталі.

Мета роботи – розробити технологію виплавки сталі марки 30ХГСА.

У розділі 1 надано характеристику конструкційної сталі марки 30ХГСА, приведено її фізико-механічні властивості та вплив на них легуючих елементів.

У розділі 2 приведено аналіз методів виплавки конструкційних сталей з підвищеними вимогами до якості.

У розділі 3 описано основні елементи конструкції дугової сталеплавильної печі, приведено розрахунок геометричних параметрів ДСП-50 та технологічних параметрів трансформатора дугової печі.

У розділі 4 приведено апаратурно-технологічну схему виробництва конструкційної сталі марки 30ХГСА та описано її технологію виплавки з повним окисненням в ДСП-50.

У розділі 5 приведено аналіз структури та властивостей сталі 30ХГСА в процесі обробки.

У розділі 6 приведено результати дослідження структуру та властивостей сталі 30ХГСА після лазерно-плазмового азотування та наноструктурування.

Розроблена технологія виплавки сталі марки 30ХГСА рекомендується для дослідно-промислових випробувань в умовах електросталеплавильних цехів металургійних підприємств України.

ЗМІСТ

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ.....	7
ВСТУП.....	8
1 ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ТА ВЛАСТИВОСТІ СТАЛІ МАРКИ 30ХГСА	11
1.1 Призначення, галузь застосування та фізико-механічні властивості сталі 30ХГСА.....	11
1.2 Вплив легуючих елементів на властивості сталі марки 30ХГСА.....	13
2 ОГЛЯД МЕТОДІВ ВИПЛАВКИ КОНСТРУКЦІЙНИХ СТАЛЕЙ З ПІДВИЩЕНИМИ ВИМОГАМИ ДО ЯКОСТІ.....	20
2.1 Выплавка сталі з повним окисленням.....	20
2.2 Выплавка сталі переплавом з використанням кисню.....	21
2.3 Выплавка у відкритих дугових печах з рафінуванням у печі.....	22
3 КОНСТРУКЦІЯ ДУГОВОЇ СТАЛЕПЛАВИЛЬНОЇ ПЕЧІ.....	24
3.1 Основні елементи конструкції дугової сталеплавильної печі.....	24
3.2 Розрахунок геометричних параметрів дугової сталеплавильної печі типу ДСП-50.....	30
4 ОСОБЛИВОСТІ ТЕХНОЛОГІЇ ВИПЛАВКИ СТАЛІ МАРКИ 30ХГСА	40
4.1 Апаратурно-технологічна схема виробництва конструкційної сталі марки 30ХГСА.....	40
4.2 Технологія виплавки сталі 30ХГСА.....	49
4.2.1 Підготовка печі до плавки.....	50
4.2.2 Підготовка шихтових матеріалів, розрахунок шихти та завантаження її в піч.....	51
4.2.3 Плавлення шихти.....	52
4.2.4 Окислювальний період.....	53
4.2.5 Відновний період.....	55
5 АНАЛІЗ СТРУКТУРИ ТА ВЛАСТИВОСТЕЙ СТАЛІ 30ХГСА В	

ПРОЦЕСІ ОБРОБКИ.....	57
5.1. Технологія отримання прокату зі сталі 30ХГСА.....	57
5.2 Вибір та обґрунтування параметрів термічної обробки	60
5.3 Аналіз можливого виду браку та заходи щодо його запобігання	63
6 ДОСЛІДЖЕННЯ СТРУКТУРИ ТА ВЛАСТИВОСТЕЙ СТАЛІ 30ХГСА ПІСЛЯ ЛАЗЕРНО-ПЛАЗМОВОГО АЗОТУВАННЯ ТА НАНОСТРУКТУРУВАННЯ.....	64
6.1 Аналіз методів термічної та мікрOMETALУРГІЙНОЇ обробки поверхні.....	64
6.2 Структура та властивості сталі 30ХГСА після лазерно-плазмового азотування та наноструктурування.....	66
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	71
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ.....	71

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ

30ХГСА – якісна конструкційна середньолегована сталь, яка переважно використовується в стані після термічної обробки та містить 0,28–0,38% вуглецю, 0,9–1,2% кремнію, 0,8–1,1% марганцю, до 0,9% нікелю, до 0,025 % сірки та фосфору, 0,8–1,1% хрому, до 0,8% міді та ~96% заліза;

$\sigma_{0,2}$ – межа плинності умовна, МПа;

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

δ_5 – відносне подовження після розриву, %;

Ψ – відносне звуження, %;

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

НВ – твердість по Брінелю, МПа;

T – температура, град. (°C);

σ_{-1} – межа витривалості при випробуванні на вигин з симетричним циклом навантаження, МПа;

J_{-1} – межа витривалості при випробування на крутіння з симетричним циклом навантаження, МПа;

n – кількість циклів навантаження,

E – модуль пружності першого роду, МПа;

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

l – коефіцієнт теплопровідності (теплоємності матеріалу), Вт/(м·град);

ρ – щільність матеріалу, кг/м³;

C – питома теплоємність матеріалу, Дж/(кг·град);

R – питомий опір, Ом·м;

ФС65 – феросиліцій з вмістом кремнію 63–68%;

ФМн78 – високовуглецевий феромарганець з вмістом марганцю 75–82%;

ФХ100А – середньовуглецевий ферохром з вмістом хрому більше 65%;

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

ДСП – дугова сталеплавильні піч;

МБЛЗ – машина безперервного лиття заготовок.

ВСТУП

Металургія складається з низки послідовних зв'язаних між собою стадій виробничого процесу, починаючи від видобутку сировини і закінчуючи випуском готової продукції – виробів з чорних або кольорових металів та їх сплавів. Металургія складається з трьох взаємопов'язаних виробництв: гірничодобувної промисловості, чорної металургії та кольорової металургії [1].

На сьогодні основними завданнями модернізації металургійного виробництва є [2]:

- зменшення його ресурсо- та енергоємності; – впровадження «розумних» технологій (інтелектуальне моделювання, використання 3D-принтерів, створення роботизованих технологічних комплексів, цифровізація продукції та послуг та інше);

- скорочення шкідливих викидів;

- покращення умов праці;

- впровадження високотехнологічних виробництв;

- розвиток внутрішнього ринку металів і стимулюванням імпортозаміщення та інше.

Необхідність пришвидшення модернізаційних зрушень у металургійному виробництві в Україні свідчить наявність низки деформацій у галузі, а саме [3]:

- висока енергоємність виробництва, неефективне споживання паливно-енергетичних ресурсів, що призводить до значних витрат природного газу, збільшуючи залежність галузі від імпорту енергоресурсів. Енергоємність виробництва чавуну на українських металургійних підприємствах на 30 % вища, ніж на провідних підприємствах світу. Особливо енергоємним є мартенівське виробництво сталі, витрати енергоресурсів при цьому майже у 5 разів (а природного газу в 15 разів) більші, ніж при конвертерному виробництві. Щорічно вітчизняна металургія споживає 6–7 млрд. м³ газу, тоді як більшість світових виробників вже давно відмовилися від використання цього енергоносія, впровадивши технології пиловугільного палива. Крім того,

споживання коксу на тонну виплавленого чавуну в Україні складає 500–550 кг, тоді як середня норма в світі становить 270–300 кг;

– відсутність інноваційних зрушень, занепад галузевої науки та недієвість механізмів залучення потенціалу академічних інститутів для виконання прикладних розробок, що призводить до поглиблення технічної і технологічної відсталості металургійної галузі (25 % сталі все ще плавиться в мартенах, на машинах безперервного лиття заготовок розливається 53 % сталі, за середніх показників у світі 1,1 % і 93 % відповідно);

– високий ступінь зношеності основних фондів (до 70–80 %). Більшість вітчизняних підприємств чорної металургії оснащені старим обладнанням, експлуатуються понад нормативні терміни. Утримання морально застарілого та зношеного устаткування (мартенівських печей, енергоємного обладнання аглофабрик, збагачувальних підприємств, прокатних цехів, доменних печей тощо) призводить до зростання збитковості металургійного виробництва;

– скорочення іноземного інвестування галузі;

– неефективне використання виробничих потужностей;

– низький рівень продуктивності праці на металургійних підприємствах;

– недостатній рівень бюджетного фінансування галузі;

– зростаючі екологічні проблеми, особливо в регіонах, де металургійна галузь є домінуючою.

Для перспективного науково-технічного розвитку металургійної галузі України необхідно [4]:

– удосконалювати підготовку професійно компетентних кадрів (зокрема, наукових);

– спрямовувати науково-технічний потенціал на вирішення практичних задач металургійного виробництва;

– впроваджувати державну політику з розвитку науково-технічного потенціалу країни;

– підтримувати зв'язок науки з виробництвом;

– відновити ролі головних науково-дослідних інститутів в металургійній

галузі для формування науково-технічної політики її розвитку та інше.

Мета роботи – розробити технологію виплавки сталі марки 30ХГСА.

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

- проаналізувати сучасні методи виплавки конструкційних сталей з підвищеними вимогами до якості;
- запропонувати технологічну схему виробництва конструкційної легованої сталі марки 30ХГСА;
- привести технологію виплавки сталі марки 30ХГСА з повним окисленням в ДСП-50;
- проаналізувати структуру та властивостей сталі 30ХГСА після обробки.

Об’єкт дослідження: структура та властивості сталі 30ХГСА після обробки.

Предмет дослідження: технологія виплавки та обробки сталі марки 30ХГСА.

Методи дослідження. У роботі застосовувалися загальні (емпіричні, комплексні й теоретичні) та спеціальні (графічні та кореляційні) методи наукових пізнань. Дослідження мікроструктури та товщини модифікованого шару проводилися на оптичному мікроскопі та на електронному скануючому мікроскопі. Визначення твердості та мікротвердості поверхневого шару проводилося з використанням мікротвердоміру HVS-1000.

Наукова новизна:

1. Запропоновано техніко-економічно обґрунтовану технологічну схему виробництва конструкційної легованої сталі марки 30ХГСА з наступною термічною обробкою.

Практичне значення:

1. Розроблена технологія виплавки сталі марки 30ХГСА рекомендується для дослідно-промислових випробувань в умовах електросталеплавильних цехів металургійних підприємств України.

1 ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ТА ВЛАСТИВОСТІ СТАЛІ МАРКИ 30ХГСА

1.1 Призначення, галузь застосування та фізико-механічні властивості сталі 30ХГСА

Конструкційні сталі широко застосовуються для виготовлення різних машин, механізмів і споруд і тому до них пред'являються високі вимоги по механічних властивостях і хладостійкості. Основною характеристикою цих сталей є високі статичні і динамічні властивості, які досягаються в результаті легування і термічної обробки.

Механічні властивості конструкційних сталей залежать як від їх хімічного складу (міри легування, вмісту вуглецю, шкідливих домішок, неметалічних включень і газів), так і від вигляду обробки (термічної, механічної і термомеханічної). Після термомеханічної обробки сталей з широкою зоною стійкості аустеніту їх межа текучості і міцності, подовження і відносне звуження значно підвищуються.

Зміна механічних властивостей при термообробці залежить від хімічного складу сталі. Всі легуючі елементи по впливу на величину області α -твердого розчину заліза можна розділити на дві групи. Перша об'єднує елементи, що розширюють цю область (марганець, нікель, кобальт, а також вуглець, азот), друга, що звужують її (алюміній, кремній, титан, ванадій, хром, молібден, вольфрам, ніобій, титан, цирконій, церій, а також фосфор, миш'як, олово, сурма). Всього сьогодні для легування сталі використовується близько 40 елементів.

Конструкційна сталь повинна володіти щільною макроструктурою; нормованими мікроструктурою, розміром зерна, твердістю; гарантованою глибиною прожарювання. На зламах або протравлених темплетях не повинна мати усадочних раковин, рихлостей, міхурів, розшарувань, тріщин, неметалічних включень і флокенів, видимих без вживання приладів збільшення [5], [6].

Так сталь марки 30ХГСА відноситься до конструкційної легованої сталі

(її ще називають хромансіль) та вміщує не більше 0,025% сірки та фосфору її хімічний склад відповідає ДСТУ 7806:2015 (табл. 1.1) [7].

Таблиця 1.1 – Хімічний склад сталі 30ХГСА [6]

Вміст елементу, %								
C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Cu	Fe
0,28-0,38	0,9-1,2	0,8-1,1	до 0,9	до 0,025		0,8-1,1	до 0,8	~96

Вид поставки: сортовий прокат, у тому числі фасоний: ДСТУ 7806:2015, ГОСТ 2590-2006, ГОСТ 2591-2006, ГОСТ 2879-2006, ГОСТ 10702-78. Калібрований пруток ГОСТ 8559-75, ГОСТ 8560-78, ГОСТ 7417-75, ГОСТ 1051-73, ГОСТ 10702-78. Шліфований пруток та сребрянка ГОСТ 14955-77. Полоса ГОСТ 103-2006. Поковки та ковани заготовки ГОСТ 8479-70, ГОСТ 1133-71. Труби ГОСТ 8731-87, ГОСТ 8732-78, ГОСТ 8733-74, ГОСТ 8734-75, ГОСТ 21729-76, ГОСТ 13663-86, ГОСТ 9567-75. Лист товстий ГОСТ 11269-76. Лист тонкий ГОСТ 11268-76.

Замінниками сталі 30ХГСА є сталі марок 40ХФА, 35ХМ, 40ХН, 25ХГСА та 35ХГСА [7].

Закордонними аналогами сталі 30ХГСА є сталі 30ChGSA (Болгарія), 30HGS, 30YGSA (Польща) та 14331 (Чехія).

Використання в промисловості: різні деталі: вали, осі, зубчасті колеса, фланці, корпуси обшивки, лопатки компресорних машин, що працюють при температурі до 200 °С, важелі, штовхачі, відповідальні зварні конструкції, що працюють при знакозмінних навантаженнях, кріпильні деталі, що працюють при низьких температурах.

Термообробка: Гартування 880 °С, олива. Відпускання 540 °С, вода.

Температура кування: початку 1240 °С, кінця 800 °С.

Перетини до 50 мм охолоджуються на повітрі, від 51 мм до 100 мм - в ящиках.

Твердість матеріалу: $HV \cdot 10^{-1} = 229$ МПа.

Температура критичних точок: $A_{c1}=760$, $A_{c3}(A_{cm})=830$, $A_{r3}(A_{rcm})=705$, $A_{r1}=670$, $Mn=352$.

Зварюваність матеріалу: обмежено зварювана.

Рекомендується підігрів і подальша термообробка.

Флокеночутливість: чутлива.

Схильність до відпускнуї крихкості: схильна.

Фізико-механічні властивості сталі 30ХГСА приведені у табл. 1.2–1.8 [8]–[10].

1.2 Вплив легуючих елементів на властивості сталі марки 30ХГСА

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 у точно встановлених межах при відповідному змісті вуглецю, а дуже часто – тільки в поєднанні з іншими легуючими елементами, тому що застосовуються на практиці різні марки легованих сталей мають чітко встановлений хімічний склад [11]–[13].

Для легування сталі марки 30ХГСА згідно [14] використовують:

1. Кусковий феросиліцій марки ФС65 (ГОСТ 1415-93) [15].

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

Таблиця 1.2 – Загальні механічні властивості сталі 30ХГСА

ГОСТ	Стан поставки, режим термообробки	Перетин, мм	КМ	$\sigma_{0,2}$, МПа	σ_b , МПа	δ_5 , %	Ψ , %	КСУ, кДж/м ²	НВ (HRC ₃), н.б.
ГОСТ 4543-71	Пруток. Гартування 880 °С, олива. Відпускання 540 °С, вода або олива.	25		830	1080	10	45	49	
ГОСТ 8479-70	Поковки. Гартування. Відпускання.	до 100	490	490	655	16	45	59	212-248
		100-300	490	490	655	13	40	54	212-248
		до 100	540	540	685	15	45	59	223-262
		до 100	590	590	735	14	45	59	235-277
		100-300	590	590	735	13	40	49	235-277
		до 100	640	640	785	13	42	59	248-293
до 100	675	675	835	13	42	59	262-311		
	Гартування від 860 °С до 880 °С, олива. Відпускання від 200 °С до 250 °С, повітря.	30		1270	1470	7	40		(43-51)
	Гартування від 860 °С до 880 °С, олива. Відпускання від 540 °С до 560 °С, вода або олива.	60		690	880	9	45	59	225

Таблиця 1.3 – Механічні властивості сталі 30ХГСА в залежності від перетину

Перетин, мм	$\sigma_{0,2}$, МПа	σ_b , МПа	δ_5 , %	Ψ , %	КСУ, кДж/м ²
Гартування 880 °С, олива. Відпускання 600 °С, вода					
30	880	1000	12	50	69
50	760	880	12	50	69
80	740	860	14	50	78
120	670	820	14	50	78
160	590	740	14	50	78
200	530	720	14	45	59
240	490	710	14	45	59

Таблиця 1.4 – Механічні властивості сталі 30ХГСА в залежності від температури відпускання

Температура відпуску, °С	$\sigma_{0,2}$, МПа	σ_b , МПа	δ_5 , %	Ψ , %	КСУ, кДж/м ²
Діаметр від 20 мм до 70 мм, гартування 880 °С, відпускання. Після відпускання охолодження у воді.					
200	1570	1700	11	44	487
300	1520	1630	11	54	470
400	1320	1420	12	56	412
500	1140	1220	15	56	362
600	940	1040	19	62	300

Таблиця 1.5 – Ударна в'язкість сталі 30ХГСА

T= +20 °С	T= -20 °С	T= -40 °С	T= -60 °С	T= -80 °С	Термообробка
69	55	41	35	23	Гартування 880 °С, олива. Відпускання від 580 °С до 600 °С. $\sigma_b=1000$ МПа

Таблиця 1.6 – Механічні властивості сталі 30ХГСА при підвищених температурах

Температура випробування, °С	$\sigma_{0,2}$, МПа	σ_B , МПа	δ_5 , %	Ψ , %	КСУ, кДж/м ²
Пруток. Гартування 880 °С, олива. Відпускання 560 °С					
300	820	980	11	50	127
400	780	900	16	69	98
500	640	690	21	84	78
550	490	540	27	84	64
Зразок діаметром 5 мм, довжиною 25 мм, прокатаний. Швидкість деформування 2 мм/хв. Швидкість деформації 0,0013					
700		175	59	51	
800		85	62	75	
900		53	84	90	
1000		37	71	90	
1100		21	59	90	
1200		10	85	90	

Таблиця 1.7 – Межа витривалості сталі 30ХГСА

σ_{-1} , МПа	J_{-1} , МПа	n	Термообробка
490	1666	10 ⁷	$\sigma_B=1670$ МПа $\sigma_B=880$ МПа $\sigma_B=1080$ МПа Гартування 870 °С. Відпускання 200 °С Гартування 870 °С. Відпускання 400 °С
372	882	10 ⁷	
470		10 ⁶	
696			
637			
$\sigma_{1/100}^{400}=160$ МПа, $\sigma_{200}^{400}=588$ МПа, $\sigma_{1/100}^{500}=54$ МПа, $\sigma_{200}^{450}=451$ МПа, $\sigma_{1/200}^{400}=176$ МПа, $\sigma_{200}^{500}=255$ МПа, $\sigma_{1/200}^{500}=59$ МПа, $\sigma_{200}^{550}=118$ МПа			

Таблиця 1.8 – Фізичні властивості сталі 30ХГСА

Т (Град)	$E \cdot 10^{-5}$, МПа	$\alpha \cdot 10^6$, 1/Град	λ , Вт/(м·град)	ρ , кг/м ³	C , Дж/(кг·град)	$R \cdot 10^9$, Ом·м
20	2,15		38	7850		210
100	2,11	11,7	38	7830	496	
200	2,03	12,3	37	7800	504	
300	1,96	12,9	37	7760	512	
400	1,84	13,4	36	7730	533	
500	1,73	13,7	34	7700	554	
600	1,64	14,0	33	7670	584	
700	1,43	14,3	31		622	
800	1,25	12,9	30		693	

феросиліцію не супроводжується охолодженням ванни. Високий вміст кремнію сприяє зниженню вмісту кисню і сірки в сталі.

2. Феромарганець марки ФМн78 (ГОСТ 4755-91 [16]).

Марганець зменшує червоноламкість сталі, підвищує її твердість, тимчасовий опір, межу пружності та знижує в'язкість 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.

Феромарганець зазвичай вводять у ванну в кінці окислювального періоду доведення.

Корекцію хімічного складу сталі по марганцю здійснюють присадками сплавів марганцю в піч або в ківш. Засвоєння марганцю становить від 80% до 95%.

3. Ферохром марки ФХ100А (ГОСТ 4757-91 [17]).

Хром додає сталі твердість, підвищує тимчасовий опір, межі текучості і 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 зневуглецювання ванни основну частину ферохрому дають в завалення, розташовуючи його ближче до укосів. Ферохром для добавок, що коректують, заздалегідь підігрівають до температури від 600 °С до 800 °С. Маючи на меті зменшення втрат хрому, шлак після присадки ферохрому обробляють розкислювальними сумішами.

Після присадки ферохрому шлак набуває зелений відтінок, таку забарвлення надають йому оксиди хрому, що вносяться сплавом. Оксиди хрому відновлюються, і шлак набуває світле забарвлення. Ферохром попередньо підігрівають; в результаті збільшується продуктивність печі, підвищується стійкість футеровки, знижується витрата електроенергії.

4. Нікель металевий марки Н-4 (ГОСТ 849-2008 [18]).

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 [6], [11].

Таким чином, аналіз сортаменту сталей, що виплавляються на сьогоднішній день, показав, на актуальність виплавки конструкційних марок сталей, зокрема, марки 30ХГСА для виробництва валів, осів, зубчастих коліс, фланців, корпусів обшивки.

2 ОГЛЯД МЕТОДІВ ВИПЛАВКИ КОНСТРУКЦІЙНИХ СТАЛЕЙ З ПІДВИЩЕНИМИ ВИМОГАМИ ДО ЯКОСТІ

2.1 Виплавка сталі з повним окисленням

Цим методом виплавляють усі вуглецеві та марганцеві сталі, також леговані сталі з низьким вмістом фосфору (не більше 0,02%), сталі марок 25-30ХГСА, 38ХС, 30ХГСН2А, 30ХГСН2МА, 12-23Х2НВ(М)ФА, 30ХГСН2МА-ВД, 40ХН2СВА-ВД, 40ХН2СМА-ВД, КВК-32, КВК-26, КВК-37 ВД, КВК-42 ВД [14].

Шихту при виплавці сталі з повним окисленням становлять: сталевий вуглецевий брухт, 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 (для сталі марки 30ХГСА його не використовують).

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

В кінці розплавлення в добре прогрійтий метал вводиться порціями залізна руда від 10 кг/т шихти до 20 кг/т 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 ФС65 для легування вводять в розплав не пізніше, ніж за 30 хв. та 15 хв. відповідно до випуску плавки. Тривалість рафінування від 50 хв. до 90 хв.

Характерною особливістю цього способу є наявність окисного 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 способу плавки є можливість отримання сталі з дуже низьким вмістом фосфору при підвищеному вмісті фосфору в шихті. Окислення вуглецю в окислювальний період викликає кипіння ванни і сприяє дегазації металу. Завдяки цим перевагам плавка сталі з окисленням отримала найбільше розповсюдження. Недоліком цього типу процесу є втрата деяких легуючих елементів, що містяться у відходах, наприклад, хрому, та велика тривалість окисного і відновлювального періоду, тобто велика тривалість плавки [6], [19, 20].

2.2 Виплавка сталі переплавом з використанням кисню

Цим методом виплавляють усі леговані сталі з гарантованим вмістом фосфору, окрім сталей марок 25-30ХГСА, 38ХС, 30ХГСН2А, 30ХГСН2МА, 12-23Х2НВ(М)ФА, 30ХГСН2МА-ВД, 40ХН2СВА-ВД, 40ХН2СМА-ВД, КВК-32, КВК-26, КВК-37 ВД, КВК-42 ВД [14].

Шихту при виплавці сталі переплавом з використанням кисню складають відходи виплавленої марки сталі або близького хімічного складу, кокс або електродний бій. Плавку шихтують з розрахунку отримання в металі після розплавлення фосфору на 0,005% нижче допустимої межі та хрому приблизно на нижній межі. Допускається застосування кременистих відходів з розрахунку отримання в шихті не більше 0,8% кремнію і знежиреною стружки не більше 10% (від маси завалки). Розрахунковий вміст вуглецю в шихті повинен бути на 0,5% вище нижньої межі вмісту в сталі.

Після розплавлення шихти при температурі розплаву від 1560 °С до 1600 °С починається продувка кисню через трубки, з окисленням вуглецю не менше 0,2%. Закінчують продувку киснем коли вміст вуглецю опускається в межах від 0,02% до 0,05% нижче верхньої межі.

Після закінчення продування киснем для зниження температури розплаву дозволяється вводити не більше 50 кг на тонну розплаву відходів

виробництва сталі близького хімічного складу, а потім скачують шлак 80%.

Після розкислення ванни кусковим феросиліцієм (ФС65) і алюмінієм (АВ87) наводиться основний шлак, який після розкислення розсипається в порошок світлого кольору (білий шлак). Феромарганець (класа А (ФМп78)) для легування вводиться в шихту або в кінці розплавлення, а легування іншими феросплавами здійснюється так само, як при виплавці сталі на свіжій шихті.

Застосування методу переплаву з частковим окисненням дозволяє прискорити нагрівання металу, знизити в ньому вміст вуглецю і розчинених газів. У результаті екзотермічних реакцій кисню з залізом, кремнієм і вуглецем температура ванни швидко підвищується, хром та інші легуючі елементи при цьому окислюються незначно, а СО, що виділяється прискорює видалення газів. Крім того, при використанні газоподібного кисню приблизно в 9 разів менше витрачається тепла і від 3 разів до 5 разів зростає швидкість окислення вуглецю. У результаті чого зменшується витрата феросплавів, тривалість плавки, знижується витрата електроенергії і збільшується продуктивність печі.

Недоліком даної технології є те, що шихта повинна бути досить чистою по фосфору. Також необхідно враховувати, що при продувці киснем збільшується угар металу, знижується вихід придатного на 1% і підвищується пилоутворення [6], [19, 20].

2.3 Виплавка у відкритих дугових печах з рафінуванням у печі

Рафінування у печі застосовується на печах місткістю від 100 т до 200 т за наступною схемою. Після закінчення окисного періоду і розкислення металу наводять новий шлак з високим вмістом СаО.

Після наведення та розплавлення рафінувальний шлак на протязі усього періоду рафінування розкислюють сумішами:

- перша розкислювальна суміш складається з вапна від 1 кг/т до 2 кг/т, порошок феросиліцію від 1 кг/т до 1,5 кг/т та коксу від 1,5 кг/т до 2 кг/т;
- наступні розкислювальні суміші складаються з вапна від 1 кг/т до 1,5

кг/т, порошоків феросиліцію від 0,8 кг/т до 1 кг/т та алюмінію від 0,4 кг/т до 0,5 кг/т.

При виплавці 12-30X2НВФА, 12-30X2НМФА, 20ХГСН2МФА-Ш, 12Х2НВМФА, 12Х2НМ1ФА, 18Х2Н4В(М)А, 30Х3В(М) у склад останньої розкислювальної суміші від 8 хв. до 10 хв. до випуску вводять порошоків алюміній у кількості від 0,95 кг/т до 1,05 кг/т у сполучі з плавиковим шпатом у співвідношенні 1:1 [14].

Перед випуском в шлак подають CaF_2 . Високий (від 10 % до 20%) вміст CaF_2 забезпечує високу рафінуючу здатність шлаку. При випуску з печі спочатку випускають в ківш рідкий шлак і потім потужним струменем метал. Перемішування металу зі шлаком забезпечує високий ступінь рафінування від домішок (від сірки) і неметалічних включень. Однією з форм рафінування сталі в ковші можна вважати технологію синтетичних шлаків на основі CaO та Al_2O_3 . У цьому випадку потрібні додаткові витрати для плавлення шлаку [6], [19, 20].

Таким чином, огляд способів виплавки конструкційних сталей з підвищеними вимогами до якості показав, що їх доцільно виплавляти наступними методами: переплавом з використанням кисню, з повним окисленням або у відкритих дугових печах з рафінуванням у печі. Визначено, що сталь марки 30ХГСА з точки зору технологічності процесу, отримання більш якісного металу доцільно виплавляти в дугових сталеплавильних печах методом повного окислення домішок.

3 КОНСТРУКЦІЯ ДУГОВОЇ СТАЛЕПЛАВИЛЬНОЇ ПЕЧІ

3.1 Основні елементи конструкції дугової сталеплавильної печі

Дугова сталеплавильна піч (ДСП) (рис. 3.1) являє собою складний з точки зору виготовлення та експлуатації агрегат. Він 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 і 200 т (табл. 3.1).

Основними елементами печі є:

- кожух і склепіння;
- ущільнювачі електродних отворів (економайзери);
- водоохолоджувальні панелі;
- механізм нахилу печі для зливу металу і скачування шлаку;
- механізм підйому і одвороту склепіння для завантаження шихти;
- механізм переміщення електродів.

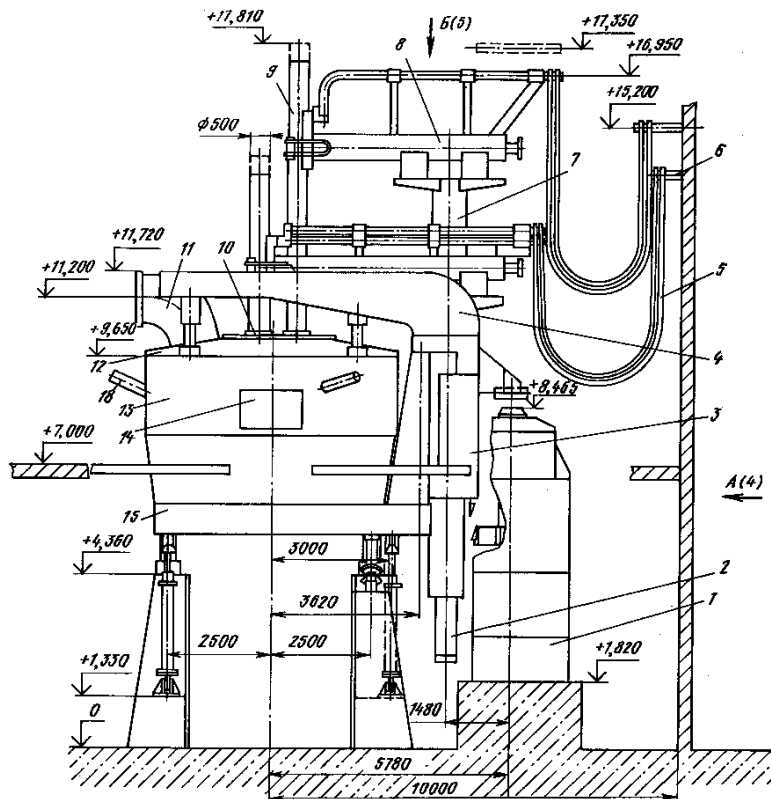
Коротка мережа (вторинний струмопідвод) служить для передачі струму від виводів вторинних обмоток трансформатора до робочих кінців електродів.

У печах застосовують графітовані електроди. Електроди діаметром від 75 до 555 мм, що працюють при щільності струму від 10 А/см^2 до 25 А/см^2 . Технічні характеристики електродів, як для печей змінного, так і постійного струму обумовлені густиною графіту від $1,6 \text{ г/см}^3$ до $2,2 \text{ г/см}^3$), його пористістю від 16% до 25 % і електропровідністю від $1,4 \cdot 10^5 \text{ (Ом} \cdot \text{м)}^{-1}$ до $2 \cdot 10^5 \text{ (Ом} \cdot \text{м)}^{-1}$. При цьому щільності матеріалу в більшій мірі впливає на термостійкість електрода, а пористість-на окислення. Крім того, від щільності електродів і електропровідності залежить їхній опір при передачі електроенергії, а, отже, і електричні втрати.

Діаметр електродів d розраховують, виходячи з потужності трансформатора (сили струму), причому щільність струму не повинна

перевищувати допустимих величин.

Конструктивно електропіч нахилиється для випуску металу і скачування шлаку і з підйомом і поворотом склепіння в бік розливного прольоту для механізованого завантаження ванни через верх.



- 1 – привод поворотний; 2 – підвіска порталу; 3 – портал; 4 – консоль;
 5 – установка кабельних гірлянд; 6- місце закріплення кабелів; 7 – стійка;
 8 – електродотримач; 9 – електрод; 10- ущільнення електродного отвору;
 11 – газовідсос; 12 – склепіння; 13 – кожух; 14 – робоче вікно; 15 – похила платформа

Рисунок 3.1 – Сучасна дугова сталеплавильна піч

Основною несучою конструкцією, на якій збираються складові частини електропечі, є похила платформа (15). Нахил платформи для випуску металу і скачування шлаку здійснюється за допомогою двох гідравлічних циліндрів.

Таблиця 3.1 – Технічна характеристика дугових сталеплавильних печей

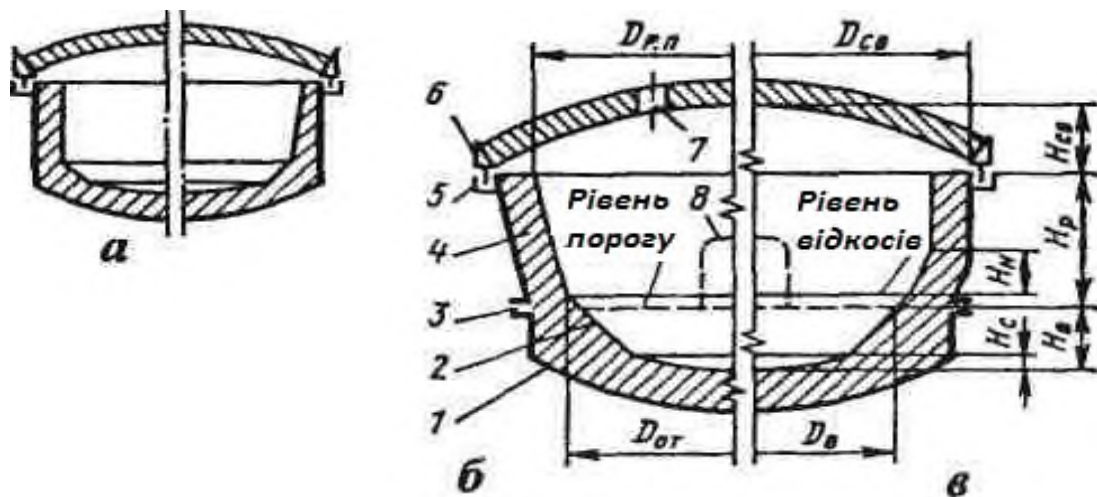
Параметри	ДСП-6	ДСП-12	ДСП-25	ДСП-50	ДСП-100	ДСП-200
Номінальна ємність печі, т	6	12	25	50	100	200
Номінальна потужність трансформатора, МВА	4	9	15	25	32(50)	32(50)
Межі напруги низької сторони, В	130-281	115-317,5	126-368	131-417	162-478	162-478
Число ступенів напруги	12	12	23	23	23	23
Максимальний струм, кА	9,85	16,37	23,5	34,6	46,2	46,2
Діаметр електрода, мм	300	350	400	500	555	555
Діаметр розпаду електродів, мм	1000	1000	1250	1600	1750	1750
Швидкість переміщення електродів, м/хв.	5	5	4,5	3,5	4,56	4,56
Діаметр робочого простору на рівні укосів, мм	2230	2740	3540	4550	5600	5600
Відстань від рівня порога до п'ят склепіння, мм	1465	1415	1565	2015	2070	2070
Глибина ванни, мм	425	555	755	890	1100	1100
Розміри робочого вікна, мм:						
ширина	500	680	800	975	1050	1050
висота	750	980	1000	1200	1180	1180
Внутрішній діаметр кожуха на рівні порога, мм	3000	4260	4690	5800	6900	6900
Кут одвороту зводу, град	61	75	75	70	85	85
Маса металоконструкцій, т	50	90	170	276	483	483

Для зливу рідкого металу і скачування шлаку електропіч нахилиється на кути до 25° та 10° відповідно. Кожух (13) електропечі являє собою зварну конструкцію і складається з двох частин: верхньої водоохолоджуваної та нижньої футерованої. За поздовжньої вісі кожуха на стороні скачування шлаку виконаний отвір для робочого вікна (14).

Обрамлення робочого вікна водоохолоджено. Привод переміщення дверцят вікон – гідравлічний. Склепіння (12) електропечі закриває зверху плавильний простір, утворений футеровкою кожуха. Конструкція склепіння (зводу) комбінована: центральна купельна частина – футерована, периферійна – охолоджувана. Газовідсос (11) служить для відводу газів з робочого простору електропечі. Він виконаний у вигляді коліноподібної трубчастої конструкції з водяним охолодженням. Звід через підвіски з'єднується з консолями (4), закріпленими на порталі (3). Портал є основною несучою конструкцією, що дозволяє здійснювати підйом всієї поворотної системи. Портал у зборі з підвіскою порталу (2) утворює конструкцію, в якій по роликах переміщуються стійки (7) електродотримачів. Електродотримачі (8) служать для утримання електродів (9) і передачі до них струму від гнучкого струмопідвода. Переміщення електродотримачів здійснюється за допомогою плунжерних циліндрів. У центральній частині зводу є три отвори для проходу електродів і один отвір для завантаження сипучих матеріалів. Щоб запобігти вибивання газів з плавильного простору через зазори між електродами і склепінням, на зводі встановлюються газодинамічні ущільнюючі пристрої (10). Установка кабельної гірлянди (5) електропечі служить для електричного з'єднання рухомих електродотримачів з нерухомими башмаками місця кріплення (6), виведеними з трансформаторного приміщення. З'єднання з пічним трансформатором здійснюється гнучкими компенсаторами. Поворотний привод (1) розташовано на окремому фундаменті. Він являє собою тумбу, в якій встановлено підйомно-поворотний вал. Підйом і поворот зводу здійснюється гідроциліндрами. Електропіч комплектується спеціальною корзиною грейферного типу для завантаження ванни електропечі зверху.

Завантажувальний пристрій служить для подачі сипучих матеріалів в піч і його встановлено на майданчику консолей порталу по вісі електропечі. Пристрій являє собою бункер з тічкою, що закінчується водоохолоджуваною муфтою в зоні отвору у склепінні електропечі. Електропіч комплектується газокисневими пальниками, які встановлюються в панелях кожуха.

Форма робочого простору може бути різною залежно від особливості технології. У поперечному перерізі дугова піч кругла. У поздовжньому перетині (рис. 3.2) профіль робочого простору (внутрішні обриси по футеровці) утворено сфероконічною ванною, стінками над нею і верхньою, обмеженою склепінням, сферичною частиною. При цьому форма ванни і верхній сферичній частині у всіх печей однакова, а стінки, форма яких тісно пов'язана з конфігурацією кожуха, можуть бути циліндричними (а), нахиленими (б) і циліндроконічними (в).



а – кожух з циліндричними стінками; б – кожух з нахиленими стінками; в – кожух з циліндроконічними стінками;

1 – кожух; 2 – укоси; 3 – рознімач кожуха; 4 – футеровка; 5 – кільцевий жолоб;

6 – сводове кільце; 7 – отвір для електрода; 8 – робоче вікно

Рисунок 3.2 – Форма кожуха і робочого простору електропечі

При виборі форми стінок враховують те, що печі з циліндричними стінками мають ряд переваг: менші габарити, маса і зовнішня тепловіддача

поверхнею печі і менша довжина короткої мережі. Основна перевага печей з циліндроконічними та нахиленими стінками – підвищення стійкості футеровки стінок внаслідок їх віддалення від високотемпературних електричних дуг. При цьому циліндроконічні стінки більш кращі, так як у печей з похилими стінками надмірно зростає діаметр склепіння. З цієї причини велика частина електропечей, що споруджувалися в останні роки на вітчизняних заводах мають робочий простір з циліндроконічними стінками.

Ванна утворена нижньою сферичною частиною і укосами (2), які нахилені під кутом 45° до горизонталі. Такий нахил необхідний, щоб магнезитовий порошок при заправці не зсипався з укосів вниз (кут природного укосу магнезиту близький до 40°). Сферична форма днища кожуха забезпечує мінімальні тепловтрати і витрати вогнетривів на кладку поду.

Робоче вікно завжди розташовують на такій висоті, щоб його поріг знаходився від 70 мм до 150 мм нижче рівня верху укосів, тобто нижче рівня, від якого починаються стінки печі. Це необхідно, щоб шлак не міг досягти стінок і не розчиняв би футеровку стінок, оскільки її, на відміну від футеровки укосів, неможливо відновити шляхом заправки – магнезитовий порошок зсипатиметься вниз з майже вертикальної стінки.

Подина основної печі складається з ізоляційних і робочих шарів. Ізоляційний шар включає укладені на металеве днище кожуха шар листового азбесту, вирівнюючи шар шамотного порошку і шар кладки з шамотної цегли. Товщина ізоляційного шару від 70 мм до 180 мм. Робочий шар включає кладку з декількох рядів магнезитової цегли товщиною від 280 мм на малих печах до 575 мм на великих і верхній набивний шар з магнезитового порошку товщиною від 100 мм до 190 мм, який на перших плавках, після викладення пода, спікається в монолітну масу.

Спечений шар набивки відіграє велику роль: по-перше він запобігає можливому виходу рідкого металу через шви між цеглинами кладки поду і, по-друге, його товщину підтримують постійно шляхом «заправки» – закидаючи після кожної плавки на зношені ділянки магнезитовий порошок; завдяки цьому

стійкість пода становить від 1500 плавок до 6000 плавок і вона не лімітує роботу печі.

Останнім часом набивний шар іноді роблять завтовшки від 400 мм до 500 мм за рахунок зменшення товщини кладки з магнезитової цегли та ізоляційного шару, при цьому досягнуто підвищення терміну служби пода, зменшення витрати магнезитових вогнетривів і простоїв печі на ремонтах поду. Загальна товщина пода на печах малої і середньої ємності приблизно дорівнює глибині ванни H_6 , а на великовантажних знижується до $0,7H_6$. На печах з електромагнітним перемішуванням товщина пода не повинна перевищувати 900 мм [21].

3.2 Розрахунок геометричних параметрів дугової сталеплавильної печі типу ДСП-50

Розрахунок геометричних параметрів дугової сталеплавильної печі типу ДСП-50 проводиться згідно методики [21].

Основні розміри дугової електросталеплавильної печі визначаються номінальною вагою плавки P . Для печі типу ДСП-50 номінальна вага становить 50 т.

Необхідний об'єм ванни:

$$V_6 = V_1 + V_2 + V_3, \quad (3.1)$$

$$V_6 = 7 + 1,25 + 0,7 = 8,95 \text{ м}^3,$$

де V_1 , V_2 – об'єм металу і шлаку відповідно, м^3 :

$$V_1 = P \cdot a_1, \quad (3.2)$$

$$V_2 = \frac{b}{100} \times \frac{P}{g}. \quad (3.3)$$

$$V_1 = 50 \times 0,14 = 7 \text{ м}^3,$$

$$V_2 = \frac{7}{100} \times \frac{50}{2,8} = 1,25 \text{ м}^3.$$

де V_3 – додатковий об'єм на перевантаження печі і кипіння металу, м^3 .

$$V_3 = \frac{V_1 \times d}{100}, \quad (3.4)$$

$$V_3 = \frac{7 \times 10}{100} = 0,7 \text{ м}^3,$$

де a_1 – питомий об'єм рідкого металу, прийнято для розрахунку $0,14 \text{ м}^3/\text{т}$;

b – кількість шлаку від кількості металу, змінюється в межах від 4 % до 10 %, прийнято 7%;

g – щільність шлаку змінюється в межах від 2,8 т/м до 3,6 т/м, прийнято $2,8 \text{ т/м}^3$;

d – додатковий об'єм, який залежить від місткості печі. При $P \geq 50\text{т}$ додатковий об'єм складає від 20% до 10%. Для розрахунку приймаємо 10%.

Зі збільшенням діаметра дзеркала ванни печі зменшується теплова напруженість стін та зростає термін служіння футеровки, зростає об'єм плавильного простору, що дозволяє використовувати легковагову шихту. Однак з і збільшенням діаметра дзеркала ванни печі зростають теплові втрати через кожух печі.

Задаємося відношенням рівня порогу робочого вікна або діаметра дзеркала ванни D_1 до глибини ванни H :

$$M = \frac{D_1}{H}. \quad (3.5)$$

Значення величини M в залежності від місткості печі коливається в межах від 4,0 до 6,5 та при $P \geq 50t$ дорівнює від 5,1 до 6,5. Приймаємо для розрахунку $M = 5,1$.

Значення розрахункового коефіцієнта a можна визначити в залежності від прийнятого значення, він коливається від 8 - для малих печей до 24 - для надвеликих печей:

$$a = 0,705 \times M^2 - 1,255 \times M + 0,742, \quad (3.6)$$

$$a = 0,705 \times 5,1^2 - 1,255 \times 5,1 + 0,742 = 12,679.$$

Глибина ванни:

$$H = \sqrt[3]{\frac{V_6}{a}}, \quad (3.7)$$

$$H = \sqrt[3]{\frac{8,95}{12,679}} = 0,89m.$$

Із конструктивних міркувань приймаємо:

$$H_1 = 0,8 > H, \quad (3.8)$$

$$H_2 = 0,2 > H, \quad (3.9)$$

$$H_1 = 0,8 > 0,89 = 0,712m,$$

$$H_2 = 0,2 \times 0,89 = 0,178 \text{ м.}$$

Глибина схилу над рівнем порогу робочого вікна H_3 приймається для малих печей 0,05 м, для середніх та великих – від 0,10 м до 0,20 м.

Приймаємо для розрахунку $H_3 = 0,15 \text{ м.}$

Діаметр дзеркала ванни:

$$D_1 = M \times H, \quad (3.10)$$

$$D_1 = 5,1 \times 0,89 = 4,539 \text{ м.}$$

Діаметр робочого простору на рівні сполучення укосів і стін:

$$D = D_1 + 2 \times H_3, \quad (3.11)$$

$$D = 4,539 + 2 \times 0,15 = 4,839 \text{ м.}$$

Діаметр сферичної частини ванни:

$$D_3 = H \times (M - 1,6), \quad (3.12)$$

$$D_3 = 0,89 \times (5,1 - 1,6) = 3,115 \text{ м.}$$

На печах місткістю $\geq 25 \text{ т}$ передбачається встановлення установки для електромагнітного перемішування металу в печі. В цьому випадку товщина подини зменшується від 15 % до 30%.

Товщина футеровки подини для розрахунку складає:

$$H_4 = 0,85 \times H, \quad (3.13)$$

$$H_4 = 0,85 \times 0,89 = 0,757 \text{ м.}$$

Для діючих електропечей висота плавильного простору приймається:

$$K = (2,1 \text{ , } 2,2)H, \quad (3.14)$$

Для розрахунку приймаємо:

$$K = 2,1 \times H.$$

$$K = 2,1 \times 0,89 = 1,869 \text{ м.}$$

Висота підйому стріли склепіння:

$$H_5 = (0,08 \text{ , } 0,10)D_1. \quad (3.15)$$

Для розрахунку приймаємо:

$$H_5 = 0,09 \times D_1,$$

$$H_5 = 0,09 \times 4,539 = 0,409 \text{ м.}$$

Висота робочого простору від рівня порога робочого вікна до найвищої частини склепіння:

$$L = K + H_5, \quad (3.16)$$

$$L = 1,869 + 0,409 = 2,278 \text{ м.}$$

Розраховуємо параметри робочого вікна:

– ширина робочого вікна:

$$A = (0,25, 0,32)D_1. \quad (3.17)$$

Для розрахунку приймаємо:

$$A = 0,27D_1,$$

$$A = 0,27 \cdot 4,539 = 1,226 \approx 1,2 \text{ м.}$$

– висота робочого вікна:

$$B = (0,6, 0,7)A. \quad (3.18)$$

Для розрахунку приймаємо:

$$B = 0,6 \cdot A,$$

$$B = 0,7 \cdot 1,2 = 0,842 \approx 0,9 \text{ м.}$$

Внутрішній діаметр кожуха печі:

$$D_4 = D + 2 \cdot d_1, \quad (3.19)$$

$$D_4 = 4,839 + 2 \cdot (0,075 + 0,46) = 5,909 \text{ м,}$$

де d_1 – максимальна товщина теплоізоляційного (приймаємо 0,075 м) та вогнетривкого (приймаємо 0,46 м) шару футеровки, яка залежить від садки печі.

Товщина стінки кожуха печі:

$$d_2 = \frac{D_4}{200}, \quad (3.20)$$

$$d_2 = \frac{5,909}{200} = 0,03 \text{ м.}$$

Зовнішній діаметр кожуха печі:

$$D_5 = D_4 + 2 \times d_2, \quad (3.21)$$

$$D_5 = 5,909 + 2 \times 0,03 = 5,969 \text{ м.}$$

Максимальний діаметр робочого простору печі або діаметр робочого простору на рівні сполучення стін і п'ят склепіння:

$$D_2 = D + 2 \times (K - H_3) \times 0,1, \quad (3.22)$$

$$D_2 = 4,839 + 2 \times (1,869 - 0,15) \times 0,1 = 5,183 \text{ м.}$$

Товщина склепіння приймається в залежності від місткості печі. Прийнято для розрахунку $d_3 = 0,3 \text{ м.}$

Для сучасних умов розповсюджені печі з циліндричним кожухом, це дає можливість збільшувати кут нахилу стін печі і тим самим підвищити термін служіння футеровки. Для прискорення поточного ремонту печі її кожух виконується з двох частей: верхньої – з'ємної, нижньої – стаціонарної.

Наявність запасної з'ємної частини в ході від 2 годин до 4 годин дозволяє замінити зношення стін новими.

Висота конічної частини кожуха печі до рівня сполучення укосів і стін:

$$K\phi = (0,5, 0,65)K. \quad (3.23)$$

Для розрахунку приймаємо:

$$K\phi = 0,55 > K,$$

$$K\phi = 0,55 > 1,869 = 1,028 \text{ м.}$$

Діаметр робочого простору на рівні сполучення стін і п'ят склепіння печі з циліндроконічним кожухом:

$$D\phi = D + 2 \times (K\phi - H_3) \operatorname{tg} b, \quad (3.24)$$

$$D\phi = 4,839 + 2 \times (1,028 - 0,15) \times \operatorname{tg} 20^\circ = 5,478 \text{ м.}$$

Значення b коливається в межах від 20° до 25° . Приймаємо $b = 20^\circ$.

Товщина теплоізоляційного і вогнетривкого шару футеровки в циліндричній частині кожуха печі:

$$d\phi = (0,6, 0,8)d_1, \quad (3.25)$$

Для розрахунку приймаємо:

$$d\phi = 0,7 > d_1,$$

$$d\phi = 0,7 > 0,535 = 0,375 \text{ м.}$$

Максимальний зовнішній діаметр кожуха печі:

$$D_{\phi} = D_{\phi} + 2 \times d_{\phi} + 2 \times d_2, \quad (3.26)$$

$$D_{\phi} = 5,478 + 2 \times 0,375 + 2 \times 0,03 = 6,288 \text{ м.}$$

Висота нижньої циліндричної частини кожуха печі визначається конструктивно.

У трьохфазній дуговій печі електроди розташовуються по вершинах рівностороннього трикутника. Діаметр окружності, який проходить через центр, називається діаметром розпаду електродів.

Відношення діаметру розпаду електродів до діаметра дзеркала ванни рекомендується для середніх печей – 0,3.

Діаметр розпаду електродів приймаємо:

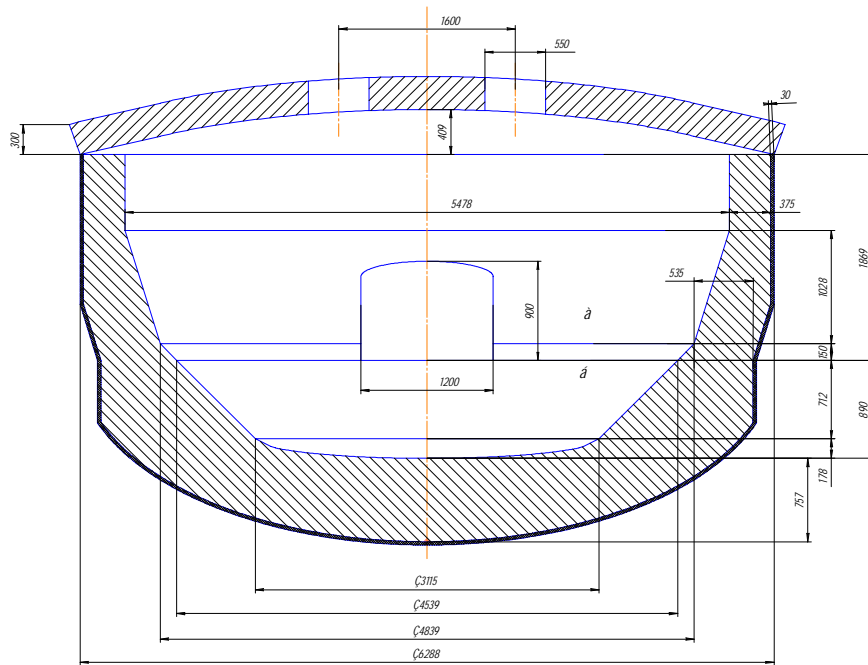
$$D_p = 0,3 \times D_1, \quad (3.27)$$

$$D_p = 0,3 \times 4,539 = 1,362 \text{ м.}$$

Приймаємо діаметр розпаду електродів рівним 1,6 м. Діаметр електрода вибирається в залежності від місткості печі. Для печі типу ДСП-50 приймаємо $D_e = 0,5 \text{ м}$. Діаметр отвору в склепінні приймається більше діаметра електрода від 40 мм до 60 мм. Приймаємо $D_o = 0,5 + 0,05 = 0,55 \text{ м}$.

За результатами розрахунку геометричних параметрів дугової сталеплавильної печі викреслюються плавильний простір та ванна ДСП-50 (рис. 3.3). Розрахунок геометричних параметрів дугової сталеплавильної печі типу ДСП-50 показав на відповідність отриманих розрахункових даних з відомими табличними даними параметрів печі (за даними ДП «Український інститут по проектуванню металургійних заводів»).

Таким чином, розглянуто конструкцію дугової сталеплавильної печі типу ДСП-50, приведено розрахунок її геометричних параметрів.



а – рівень сполучення укосів та стін; б – рівень порогу робочого вікна

Рисунок 3.3 – Плавильний простір та ванна ДСП-50

4 ОСОБЛИВОСТІ ТЕХНОЛОГІЇ ВИПЛАВКИ СТАЛІ МАРКИ 30ХГСА

4.1 Апаратурно-технологічна схема виробництва конструкційної сталі марки 30ХГСА

Сучасна технологія виробництва високоякісної сталі повинна забезпечувати відповідність технологічних параметрів заданим значенням, для чого треба слідкувати та контролювати усі етапи технологічної схеми виробництва електросталі, починаючи від підготовки шихти та закінчуючи отриманням готової продукції (рис. 4.1).

Розглянемо нижче технологічну схему виробництва конструкційної сталі марки 30ХГСА (рис. 4.2).

Відомо, що електросталеплавильний цех складається з [22]:

- шихтового прольоту, в якому встановлені шихтові ями, в яких зберігається шихта, грейферні та магнітогрейферні крани, щокові щокові;
- пічного прольоту, в якому встановлені сталеплавильні агрегати (типу ДСП-50 (рис. 4.2));
- розливного прольоту, в якому встановлені або машини безперервного лиття заготовок (МБЛЗ), або виливниці та крани, які приймають і готують для розливки метал.

Технологічний процес виробництва сталі виглядає наступним чином [19].

Велику частину металевого лому привозять в шихтовий проліт на платформах в контейнерах, а частина розсипом. У шихтовому прольоті контейнери розміщують на спеціально відведених площах, а насипний лом перенавантажують в засіки. В електросталеплавильному цеху для завантаження лому використовуються корзини типа грейфера. Це виключає витрати ручної праці і часу на збірку корзини. Зважування корзин, що заповнюються ломом, здійснюється за допомогою вігів, змонтованих на передавальних візках. Це дозволяє відмовитися від стаціонарних вігів в шихтовому прольоті і прискорює

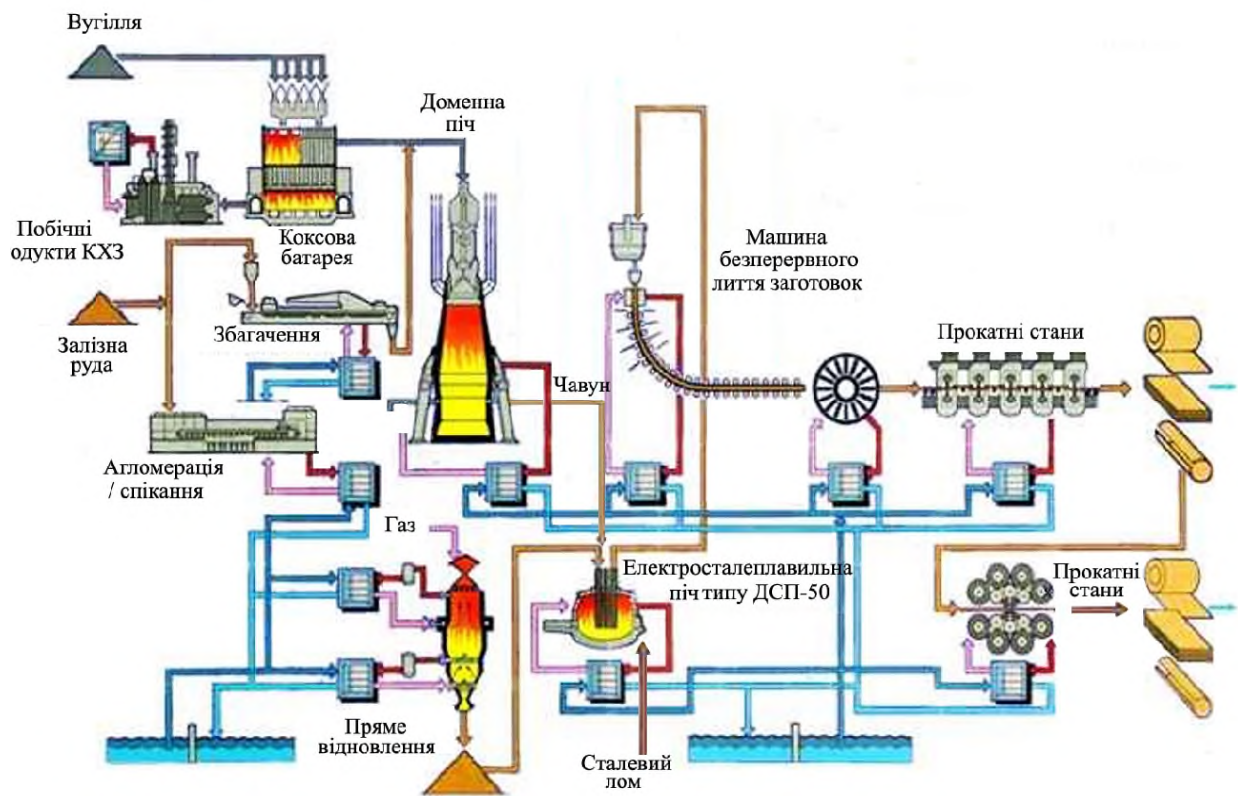


Рисунок 4.1 – Апаратурно-технологічна схема виробництва електросталі



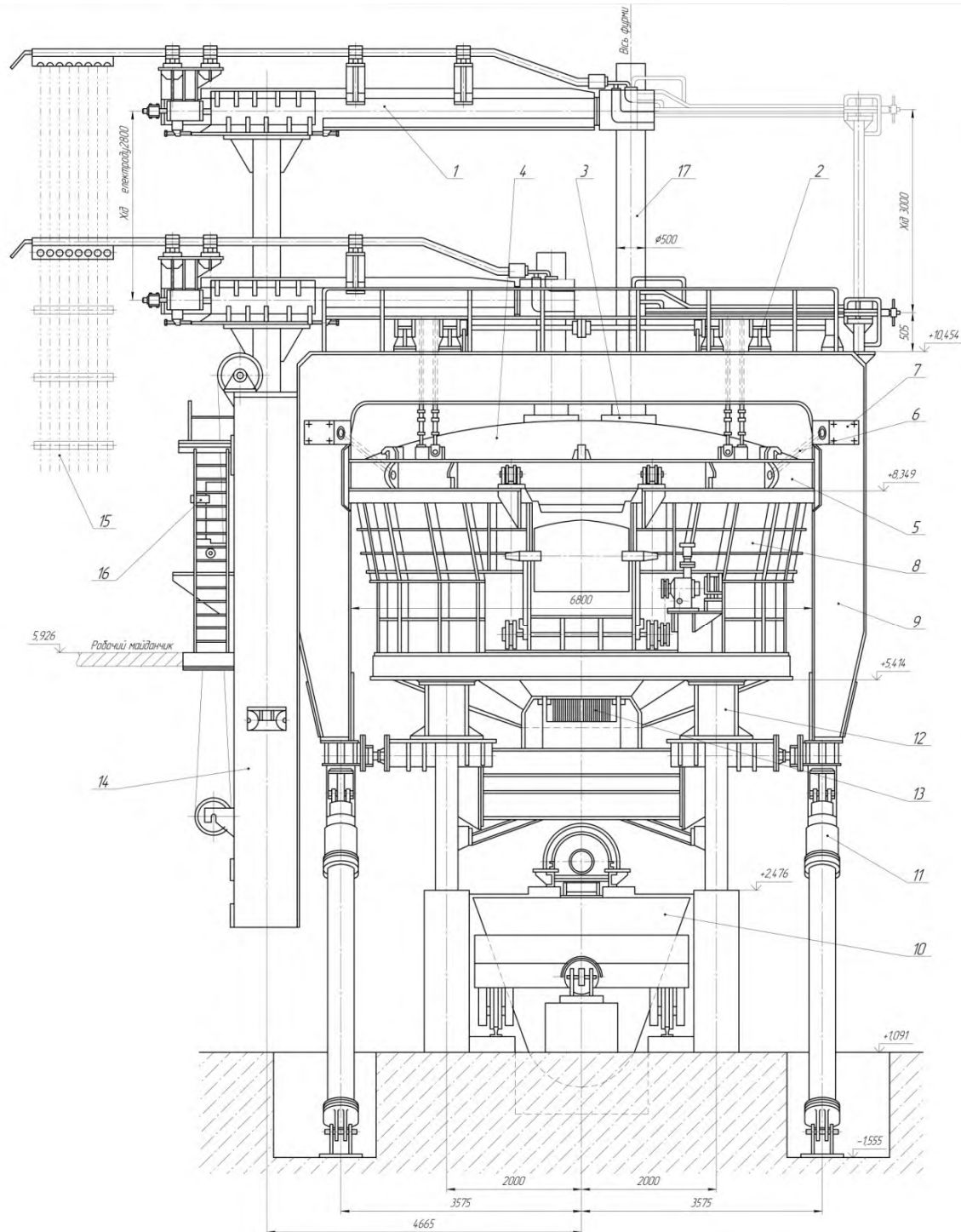
Рисунок 4.2 – Технологічна схема виробництва сталі 30ХГСА

зважування.

Основну частину лому окантовують в корзину з контейнерів і довантажують магнітною шайбою. Потім корзину з ломом на передавальному візку доставляють по поперечній дорозі в пічний проліт. Тут корзину піднімають краном і завантажують з неї лом зверху в піч. При русі корзини по поперечній дорозі в неї вводять шлаку твірні матеріали з бункерів бункерного прольоту.

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 (рис. 4.3).



- 1 – електродотримач; 2 – механізм переміщення електроду; 3 – економайзери;
 4 – склепіння; 5 – кільце склепіння; 6 – механізм приводу; 7 – привод;
 8 – корпус (ванна) печі; 9 – гідравлічний циліндр; 10 – гідроциліндр;
 11 – механізм нахилу; 12 – ролики; 13 – робоче вікно; 14 – механізм повороту
 склепіння; 15 – рівень ходу електроду; 16 – шахта; 17 – електрод

Рисунок 4.3 – Загальний вигляд дугової сталеплавильної печі типу ДСП-50

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.

Для позапічної обробки сталі 30ХГСА використовують установку піч-ківш (рис. 4.4), в якій з залізовуглецевого напівпродукту плавильної печі (ДСП-50) отримують сталь необхідного хімічного складу і якості, проводячи її розкислення, легування і рафінування.

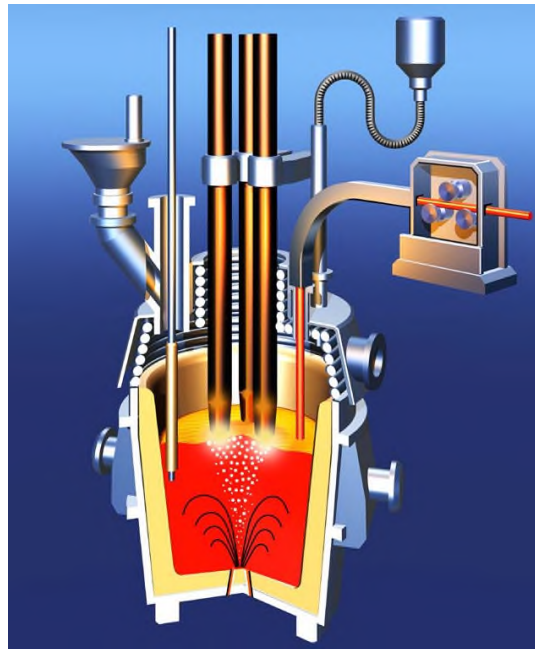


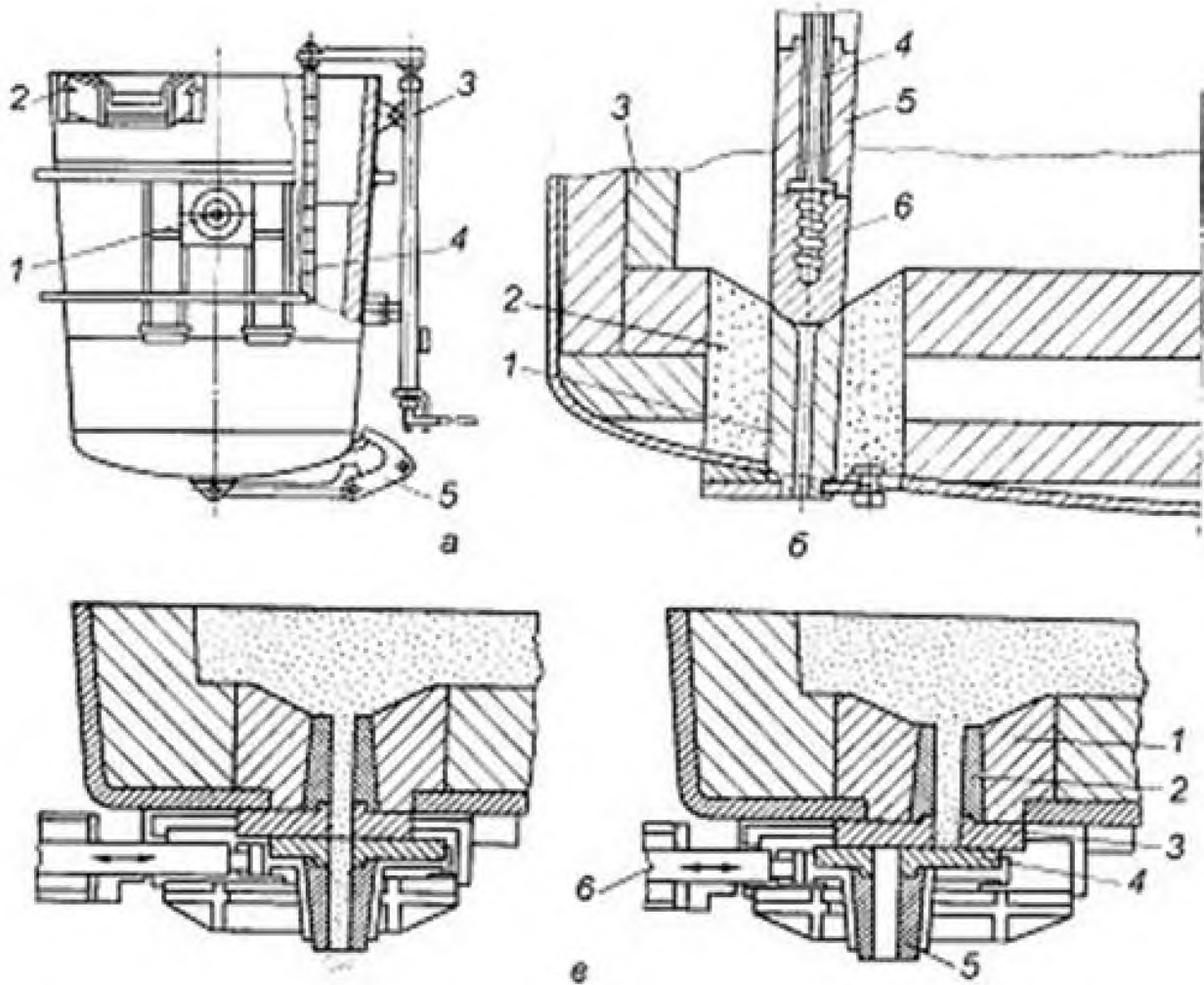
Рисунок 4.4 – Установка піч-ківш

У ковші-печі відбувається дуговий нагрів поверхні дзеркала рідкого металу, який запобігає його охолодженню при легуванні феросплавами і підтримуючи необхідну температуру для подальшого безперервного розливання сталі. Питома витрата електроенергії становить від 30 кВт·год./т до 50 кВт·год./т при швидкості нагріву від 3 К/хв. до 5 К/хв.

Феросплави, що використовуються при позапічній обробці повинні мати фракцію від 5 мм до 50 мм та вологість менше 1%.

Алюміній для розкислення та легування металу використовується у вигляді первинного або вторинного алюмінію.

Готову рідку сталь випускають в сталерозливні ковші ємністю 50 т та 100 т (рис. 4.5), встановлені на сталевозах (рис. 4.6), які пересуваються по поперечних ширококолійних шляхах, прокладених під конвертерами і транспортують ковші в розливний проліт.



а – загальний вигляд (1 – цапфа; 2 – носок для зливу шлаку; 3 – стопорний механізм; 4 – стопор; 5 – скоба для кантування ковша);

б – установка стопора і склянки в ковші (1 – стакан; 2 – гніздовий цегла, 3 – кладка ковша; 4 – стрижень стопора; 5 – катушка; 6 – пробка);

в – шиберний затвор у відкритому (I) і закритому (II) положеннях (1 – гніздовий цегла; 2 – розливний склянку; 3 – нерухома плита; 4 – рухома плита; 5 – стакан колектор; 6 – шток гідроциліндра)

Рисунок 4.5 – Схема сучасного сталерозливного ковша

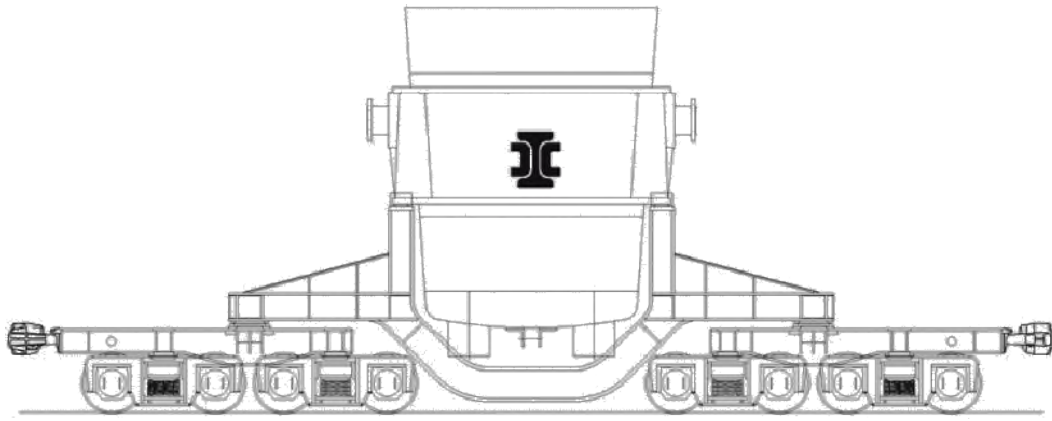


Рисунок 4.6 – Схема сталевозу

Сталерозливний ківш складається з зварного кожуха, виготовленого із сталевих листів товщиною від 16 мм до 40 мм і має форму усіченого конуса з розширенням догори. Днище ковша може бути плоским або мати сферичну форму (в ковшах великого обсягу). Для футеровки сталерозливних ковшів використовують шамотну цеглу, набивні або наливні кислі вогнетривкі маси. Діаметр каналу сталерозливної склянки змінюється від 35 мм до 80 мм.

Технологія виробництва сталі марки 30ХГСА передбачає розливання сталі на машині безперервного лиття заготовок (МБЛЗ) криволінійного типу з вертикальним кристалізатором (рис. 4.7).

Із сталерозливного ковша сталь поступає в проміжний ківш, що розподіляє метал в кристалізатори (рис. 4.8). Для зниження тепловтрат сталерозливного ковша його накривають футерованими кришками, а до початку розливання футерівку прогрівають до температури від 900 °С до 1200 °С.

Перед розливанням в кристалізатори заздалегідь вводять присадку, утворюючи його тимчасове дно. При заповненні кристалізатора рідкою сталлю включають механізми їх гойдання і приводу клітей радіальної ділянки машини, що тягнуть, витягають в початковий період злитка. Коли присадка приходить в тягнучу зону, кліті радіальної ділянки здійснюють тільки направляючі функції, а подальше витягування виконують тягнучі кліті з одночасною правкою при виході на горизонтальну ділянку. Під час розгинання передній кінець злитка

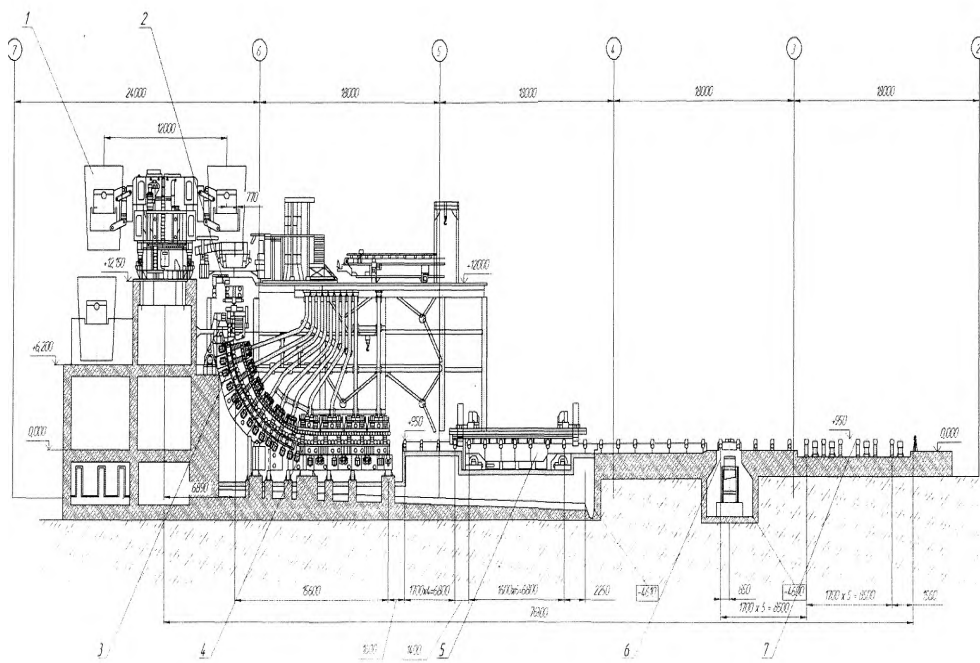
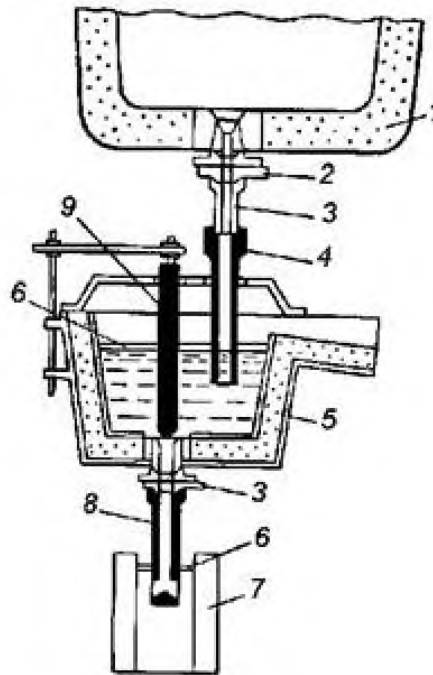


Рисунок 4.7 – Машина безперервного лиття заготовок криволінійного типу

відділяється від приманки, яка відводиться спеціальним пристроєм в початкове положення.



- 1 – сталерозливний ківш; 2 – шибєрний затвор; 3 – з'єднувальний стакан;
 4 – захисна труба, що погрузається; 5 – проміжний ківш; 6 – захисні
 шлакоутворюючі суміші; 7 – кристалізатор; 8 – стакан, що погрузається;
 9 – стопор

Рисунок 4.8 – Система подачі металу в кристалізатор з захистом від впливу атмосфери

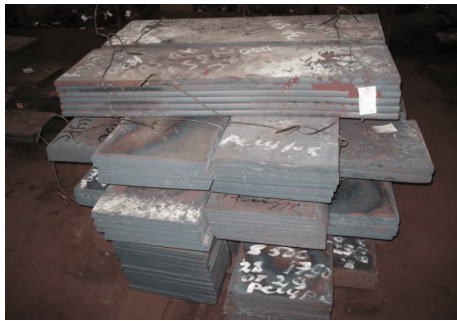
По ходу розливання плавки з проміжного ковша періодично беруть проби металу для хімічного аналізу і заміряють температуру металу в проміжному ковші. За результатами вимірювань коректують швидкість розливання і режим вторинного охолодження металу [19]. На виході з машини безперервного лиття заготовок (після тягнуть-правильної кліті) заготовля 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 (рис.

4.9). 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.



а



б

Рисунок 4. 9 – Лист (а) та труба (б) зі сталі марки 30ХГСА

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

4.2 Технологія виплавки сталі 30ХГСА

Технологія виплавки конструкційної сталі, зокрема марки 30ХГСА, у відкритій дуговій електропечі типу ДСП-50 з основною футерівкою ділиться на наступні періоди [6], [11], [23]:

- підготовка печі до плавки (заправка);

- підготовка шихтових матеріалів, розрахунок шихти та завантаження її в піч;
- плавлення шихти;
- окислювальний період;
- відновний період (рафінування);
- випуск плавки.

4.2.1 Підготовка печі до плавки

Для підтримки вогнетривкої футерівки в робочому стані після кожної плавки (випуску металу) дугову сталеплавильну піч ретельно готують: візуально оглядають бічну поверхню футерівки і подину. Візуально виявляються тріщини та руйнування. За допомогою спеціальних скребків віддаляються всі залишки попередньої плавки. Залишки шлаку і металу приводять до того, що шлак, реагуючи при великих температурах з футерівкою, розчиняє її.

Шлак і метал в печі швидко застигають, тому операцію чищення подини прагнуть виконати в найкоротший час; висока температура в печі необхідна для приварювання заправного матеріалу.

Для заправки печі використовується магнезитовий і доломітовий порошки, роздрібнювальну відпрацьовану магнезитову і хромоперіклазову цеглину, хромистий порошок (хромиста руда). При значних пошкодженнях подини або укосів проводиться посилена заправка печі з використанням порошкоподібних матеріалів із зв'язкою: кам'яновугільний пек, водний розчин рідкого скла. Заправлені місця подин покриваються вапном в кількості не більше 5 кг/т сталі, яку вводять розсипом лопатами.

В ДСП-50 застосовуються механізована заправка укосів заправними машинами, що викидають заправний матеріал силою стислого повітря або за допомогою диска, що обертається.

Випускний отвір закривається із застосуванням доломітового порошку.

Випускний отвір і жолоб очищаються від залишків металу і шлаку, при необхідності проводиться їх ремонт.

Пісочний затвор повинен забезпечувати щільну посадку склепіння. Стан склепіння, заслінки робочого вікна та економайзерів повинні забезпечувати герметизацію печі.

Струмопровідні частини печі, склепіння, каркас обдуваються стислим повітрям не менш одного разу в дві доби.

4.2.2 Підготовка шихтових матеріалів, розрахунок шихти та завантаження її в піч

При виплавці сталі марки 30ХГСА металеву частину шихти складають металевий лом (92%) та рідкий передільний чавун (8%).

Завантаження в ДСП-50 металевого лому проводиться за допомогою бадді. Для досягнення оптимального укладання печі шихта повинна складатися в межах від 35% до 40% з крупного лому, від 40% до 45% – середнього, від 15% до 20% – дрібного, причому половина дрібного лому завантажується на подину, потім йде крупний лом упереміш з середнім і зверху половина дрібного. Це забезпечує максимальне садіння печі, менший тиск шихти на подину, і дрібний лом швидше проплавляється.

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 30ХГСА 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; ферохром марки ФХ100А завалюється на укоси; кокс – під електроди.

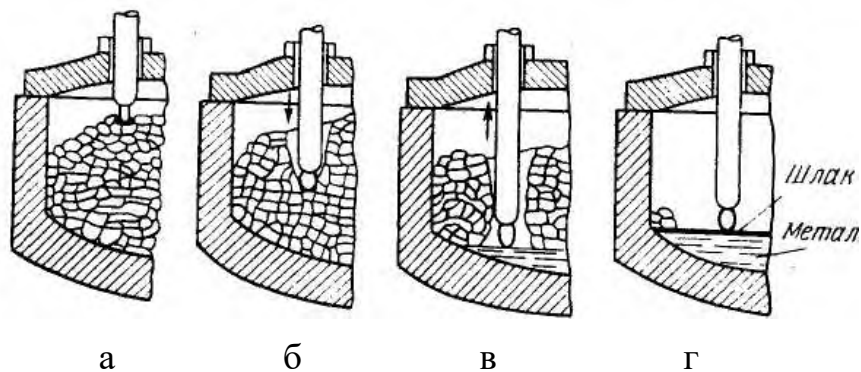
Феросплави в кількості більше 1,5% від ваги додають в метал в нагрітому до червоного стану.

Для підтримки рівномірної ранньої дефосфорації металу в завантаження вводять кускове свіжого випалу вапно (не більше 20 годин вивантаження з печі) без ознак гасіння в кількості 2,23 кг/т шихти. Залежно від стану подину вапно завантажується або на подину або зверху шихти.

Для ранньої дефосфорації завантажується залізна руда в кількості 4,84 кг/т шихти. Вміст води в матеріалах не більше 1,5%.

4.2.3 Плавлення шихти

Плавлення шихти (рис. 4.10) складає 1/3-1/2 загального часу плавлення сталі 30ХГСА в печі. Плавлення проводиться на повній потужності трансформатора. Для прискорення плавлення і щоб уникнути поломок електродів дозволяється застосування кисню для підрізування шихти.



а – початок плавлення; б – опускання електроду; в – підйом електроду;
г – кінець плавлення

Рисунок 4.10 – Стадії плавлення шихти при електроплавці

Після розплавлення, хімічний склад шихти приймає наступний вид:
[C] = 0,534 %, [Mn] = 0,312 %, [Si] = 0,298 %, [S] = 0,032 % та [P] = 0,06 %.

Для скорочення тривалості періоду плавлення доцільно створювати

сприятливі умови для попутного окислення фосфору. Кількість шлаку, необхідного для дефосфорації металу становить 4,57 кг.

Після повного розплавлення шихти береться проба металу на аналіз. При задовільному хімічному аналізу скачується 75% шлаку. Якщо вуглецю за результатами аналізу менше, викачується весь шлак, проводиться вуглецювання за допомогою електродного бою і наводиться новий шлак шляхом присадки вапна та плавикового шпату, і лише після цього починається окислювальний період.

4.2.4 Окислювальний період

Завданням окислювального періоду плавки є:

- 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.

Окислення ванни починається при хорошому нагріванні металу і проводиться рудою. Окислювач і вапно вводяться в такій кількості, щоб підтримувалося рівномірне енергійне кипіння ванни, не допускаючи викиду металу і шлаку. Потужність, що регулюється, регулюється відповідно до кількості вводиться руди, кисню і температурою металу, яка повинна поступово підвищуватися.

При рівномірному завантаженні шлак стає пінний, рідко рухливий, здатним мимоволі стікати з робочого вікна. Все це приводить до того, що температура металу поступово підвищується, шлак оновлюється. Швидкість окислення вуглецю повинна бути спочатку від 0,4% до 0,6% в годину, а к кінцю періоду від 0,2% до 0,3%. Для контролю ходу періоду від 5 хв. до 10 хв. беруться проби металу на експрес-аналіз, за яким визначаються концентрації

фосфору і сірки. При вмісті фосфору менше 0,02% окислювальний період закінчують.

Технологічною інструкцією по виплавці електросталі передбачається, що вуглець повинен окислюватися від 0,4% до 0,5% для середньовуглецевих марок сталі. Вміст марганцю в окислювальний період, як правило, не регламентується, електроплавлення протікає по рівноважній кривій його окислення, при цьому із зростанням температури і зменшенні ступеня окисненості шлаку марганець починає відновлюватися, тому приблизно 20% марганцю до кінця окислювального періоду залишається в металі.

В процесі окислення в шихті практично повністю окислюється хром. Отримання тугоплавких оксидів хрому призводить до зниження рухливості шлаку, його рідко текучості. Це негативно позначається на ході електроплавлення. Крім того, при насиченні оксидами хрому шлак зеленіє. Тому прагнуть зменшити попадання хрому в шихтовку, проте його попадання неминуче через невелику кількість хрому і нікелю. Для хрому в шихтовці є обмеження – 0,4%. З хромом можна поступити таким чином: за допомогою газоподібного кисню різко підіймають температуру, це призводить до того, що в стандартному стані в металі окислюється вуглець, а не хром.

При виплавці сталі 30ХГСА в окислювальний окислюється С – 0,4 %, Mn – 0,234 %, Si – 0,208% – практично цілком, P – 0,045%, S – 0,006, при чому вміст фосфору наприкінці окислювального періоду не повинний перевищувати вміст його в марці сталі з урахуванням внесення фосфору внесеного феросплавами в окисний період.

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

Шлак окислювального періоду (44,46% CaO; 15,22% FeO; 20,21% SiO₂; 3,07% Al₂O₃; 6,69% MnO; 7,67% MgO та 2,21% P₂O₅) у кількості 4,68 кг має основність 2,13.

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

Загальна тривалість окислювального періоду 40 (± 20) хв.

4.2.5 Відновний період

Після скачування шлаку окислювального періоду оголений метал витримують не більше хвилини, потім наводиться рафінувальний шлак зі плавикового шпату 0,79 кг/т, шамотного бою 1,342 кг/т та вапна 3,16 кг/т сталі.

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

Після присадки плавикового шпату вводяться феромарганець марки ФМп78, потім кусковий феросиліцій марки ФС65. Ферохром марки ФХ100А 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 ° нижче температури випуску, піч ущільнюється і переключається на знижену напругу (від 170 В до 205 В) і починається розкислення шлаку.

Момент утворення слабокарбідного або білого шлаку відзначається в плавильної карті. Під час рафінування шлак повинен бути слабокарбідним (за зовнішнім виглядом) або білим. До випуску слабокарбідний шлак перекладається в білий. Під час рафінування відбираються від 3 проб до 5 проб на хімічний аналіз. При дифузійному розкислюванні під білим шлаком, коли шлак покривають порошком коксу і ФС65, протягом від 25 хв. до 40 хв. відбувається відновлення, і після охолодження такого шлаку він розсипається на білий порошок.

Шлак відновного періоду (58,092% CaO; 19,022% SiO₂; 0,635% S; 9,421% Al₂O₃; 5,214% CaF₂; 7,615% MgO) у кількості 5,466 кг має основність 3,05.

Перед випуском плавки вводять кусковий алюміній марки АВ87, який глибоко розкислює метал і при цьому від 0,02% до 0,05% алюмінію залишається в металі. Цей алюміній необхідний для компенсації захоплення

кисню струменем металу при випуску і розливанні. Також алюміній сприяє формуванню зерна металу, оскільки від 70 % до 90 % неметалічних включень в металі на основі глинозему, що приводить при прокатці до розриву листа по ланцюжку включень. Остаточний вміст кисню в металі забезпечується застосуванням рідкоземельних металів, але це дуже дорого. При комплексному розкислюванні, коли на початковому етапі глибинного розкислювання вводяться подвійні та потрібні розкислювачі, неметалічні включення представлятимуть форму, що складається з складних комплексних з'єднань.

Перед випуском металу з печі береться проба на хімічний аналіз та відповідність до ДСТУ 7806:2015.

Тривалість відновного періоду складає від 50 хв. до 90 хв.

Загальна тривалість виплавки сталі 30ХГСА у ДСП-50 з основною футерівкою ділиться становить 2,5 год.

Таким чином, запропоновано технологічну схему виробництва конструкційної сталі марки 30ХГСА, розроблено технологію її виплавки в дуговій сталеплавильній печі типу ДСП-50 методом повного окислення.

5 АНАЛІЗ СТРУКТУРИ ТА ВЛАСТИВОСТЕЙ СТАЛІ 30ХГСА В ПРОЦЕСІ ОБРОБКИ

5.1. Технологія отримання прокату зі сталі 30ХГСА

Найважливішим завданням в прокатному виробництві є випуск і освоєння новітніх профілів прокату, тому необхідно мати велике число різноманітних прокатних валків. Ці обставини змушують вишукувати кошти для збільшення їх стійкості. Зносостійкі валки дозволяють вести прокатку виробі з жорсткими допусками за розмірами і отримувати їх з вельми чистою і високоякісною поверхнею [24]. Основним призначенням прокатного стану є здійснення пластичної деформації металу між валками, що обертаються [25]. Класифікація прокатних станів і методика розрахунку основних вузлів і деталей прокатного обладнання на міцність та жорсткість описана у роботі [26].

Розглянемо технологію отримання прокату зі сталі 30ХГСА, приведеную у роботі [27].

Вихідною заготівлею для прокатки гарячекатаних листів на стані 2300 (рис. 5.1) є сляби (рис. 5.2).



Рисунок 5.1 – Товстолистовий прокатний стан 2300

Відомо, що температура початку прокатки визначається після видалення окалини, тобто після другого - четвертого пропуску для вуглецевих марок сталі і після другого - шостого пропуску для конструкційних марок сталі.

Температура початку прокатки для сталі марки 30ХГСА дорівнює 1180 °С, а кінця прокатки повинна бути 860 ± 30 °С. Перед посадкою всі зливки і сляби очищаються від бруду та сміття. Проштовхування сляба проводиться після правильного укладання їх на посадочній площадці.



Рисунок 5.2 – Сляб зі сталі марки 30ХГСА

В процесі прокатки валки безперервно охолоджуються водою. Очищення поверхні гуркоту від окалини проводиться в процесі прокатки гідрозбиву з заднього боку робочої кліті.

Прокатка листів ведеться за наступною схемою: прокатку виробляють за кілька проходів по довжині зливка для зняття конусності, потім в поперечному напрямку до отримання необхідної ширини. Після цього прокочують лист до кінцевої товщини тільки по довжині розкату. У перших двох-чотирьох проходах процес прокатки для зняття конусності здійснюють при обтиснутими по 20 мм.

За один прохід, при прокатці в поперечному напрямку (від 10 проходів до

16 проходів) за один прохід обжимають лист в межах від 13 мм до 15 мм, в інших від 20 проходів до 25 проходів при поздовжньої прокатці обтиску за один прохід приймають в межах від 5 мм до 9 мм; останні два проходи прагнуть здійснити при обтиснутими не більше межі від 2 мм до 3 мм, щоб зменшити різнотовщинності готового листа.

Під час прокатки слябів при розбивці ширини після 7 і 8 проходу необхідно проводити додаткову кантовку на 180° .

Усі листи після гарячої прокатки проходять нормалізацію на холодильнику

та інспекторському столі поштучно. Охолодження листів здійснюється вентиляторним повітрям. Після охолодження листи задають в листоправільну

машину холодної правки. Далі лист ріжуть по бічній кромці на дискових ножицях і торцевій крайці на гилітінних ножицях. Потім на лист наносять маркування за допомогою іглоударного маркувальник і складають в пакети.

Вимоги до прокату сталі марки 30ХГСА повинні відповідати ГОСТ 11269-76. Відхилення від площинності не повинне перевищувати норм високої площинності відхилення по товщині гарячекатаного листового прокату – не більше 0,5 мм. Листи виготовляють в термічно обробленому (пом'якшення) стані.

Макроструктура сталі не повинна мати слідів усадкової раковини, сторонніх включень, тріщин, міхурів та флоконов і повинна забезпечуватися технологією виготовлення.

Поверхня листів і смуг повинна бути рівною, чистою, гладкою, без розкатаних бульбашок, розкатаних тріщин, розкатаних забруднень, тріщин і забруднень, тріщин напруги, раковин-вдаючись, раковин від окалини, волосовин, вкатаним окалини, прокатних і сліточних полон. Розшарування в листах не допускаються. Глибина обезвуглецьованого шару (по чистому фериту) для листів і смуг з сталі 30ХГСА не повинна перевищувати: товщиною до 20 мм – 2,5% з кожного боку; товщиною від 20 до 30 мм – 2% з кожного боку.

Механічні властивості листів 1, 3 і 5-ї категорій в пом'якшеному або нормалізованому стані та твердість листів 2, 3, 4 і 5-ї категорій повинні відповідати нормам ГОСТ 11269-76.

5.2 Вибір та обґрунтування параметрів термічної обробки

У ряді випадків міцність гарячекатаного листа, підданого нормалізації з прокатного нагріву, перевищують значення, допустимі по ГОСТ. Зокрема твердість листів товщиною 16 мм становить 237 НВ, замість допустимого значення 217 НВ (табл. 5.1).

Таблиця 5.1 – Результати механічних властивостей гарячекатаного прокату зі сталі марки 30ХГСА

Марка сталі	Товщина, мм	Стан постачання	Механічні властивості та стан постачання		Твердість НВ
			тимчасовий опір, Н/мм ²	відносне подовження, %	
30ХГСА	16	нормалізація	790	22	237

У цих випадках гарячекатані листи піддаються пом'якшувальною термічної обробці – неповного відпалу (рис. 5.3 та табл. 5.2). Мікроструктура гарячекатаного прокату із сталі марки 30ХГСА товщиною 16 мм після відпалу представлена на рис. 5.4.

Неповний відпал сталі 30 ХГСА проводять при нагріванні до температури 7900, що вище АС1 (760 °С) але нижче АС3 (830 °С). Цей відпал застосовують обмежено. При температурі неповного відпалу надлишковий ферит не зникає. Отже, неповний відпал не може усунути зазначених вище вад сталі, які пов'язані з небажаними розмірами та формою надлишкового фериту. Неповний відпал використовують для пом'якшення її перед обробкою різанням, так як в

результаті евтектоїдних перетворення при неповному відпалі змінює структуру перліту, однак, структура фериту може залишатися незмінною. Внутрішні напруги знімаються повністю, і сталь отримує знижену твердість і добре обробляється механічно.

Таблиця 5.2 – Результати механічних властивостей гарячекатаного прокату зі сталі марки 30ХГСА після відпалу

Марка сталі	Товщина, мм	Стан постачання	Механічні властивості та стан постачання		Твердість	
			тимчасовий опір, Н/мм ²	відносне подовження, %	діаметр відбитку, мм	НВ
30ХГСА	16	відпал	610	26	4,6	170



Рисунок 5.3 – Загальний вигляд сталі 30ХГСА після відпалу

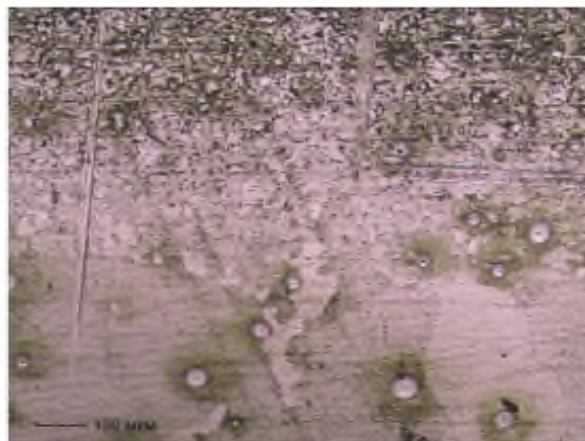


Рисунок 5.4 – Мікроструктура гарячекатаного прокату із сталі марки

30ХГСА товщиною 16 мм після відпалу x100

Мікроструктура гарячекатаного прокату із сталі марки 30ХГСА завтовшки 16 мм після нормалізації в потоці стану 2300 наведено на рис. 5.5, а мікроструктура після відпалу в колпакових печах наведено на рис. 5.6 [27].

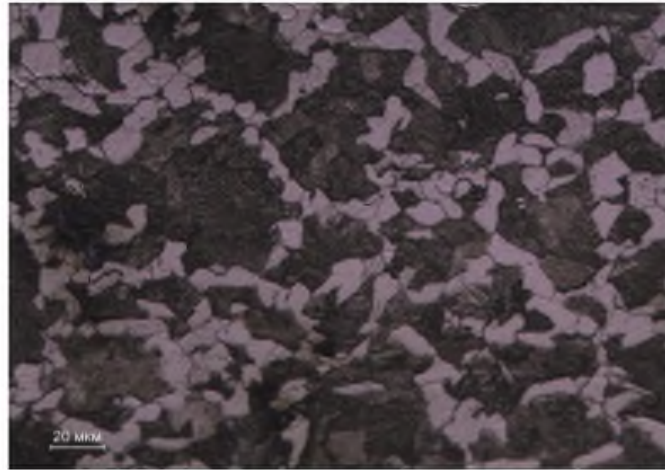


Рисунок 5.5 – Мікроструктура гарячекатаного прокату із сталі марки 30ХГСА після нормалізації

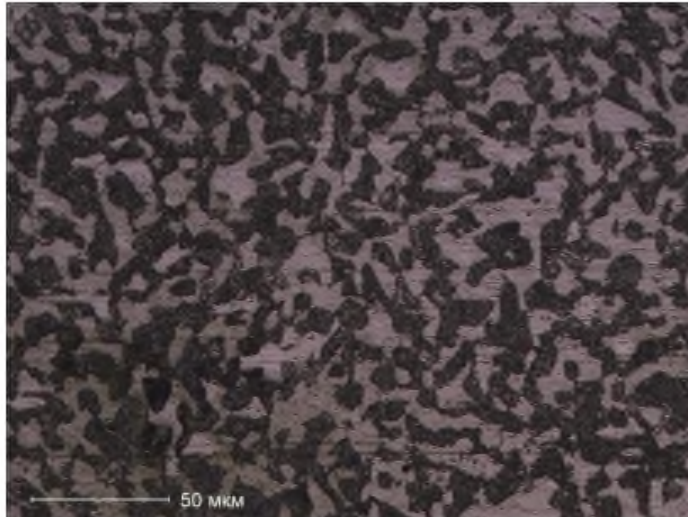


Рисунок 5.6 – Мікроструктура гарячекатаного прокату із сталі марки 30ХГСА завтовшки 16 мм після відпалу в колпакових печах

5.3 Аналіз можливого виду браку та заходи щодо його запобігання

При проведенні технологічної обробки при відпалі можлива поява

наступних видів браку:

– незадовільна твердість – невідповідність нормам твердості є одним з видів браку при технологічній обробці. Якщо твердість металу вище становлених норм, то необхідно застосувати повторний відпал, причому особливу увагу слід звернути на рівномірний прогрів металу. Якщо метал після відпалу має нижчу твердість, ніж це передбачено технічними умовами то для виправлення застосовують нормалізацію з короткочасним відпалом;

– окислення. При нагріванні в полум'яних печах поверхню сталевих деталей взаємодіє з пічними газами. В результаті метал окислюється і на деталях утворюється окалина. З підвищенням температури і часу, витримки окислення різко зростає. Утворення окалини не тільки викликає угар (втрату) металу, а й спотворює геометричну форму деталей. Поверхня сталі під окалиною виходить роз'їденої і нерівною, що ускладнює обробку металу ріжучим інструментом. Окаліну з поверхні деталей видаляють або травленням в сірчаної кислоти, або очищенням в дробоструминних установках;

– обезвуглецювання. Обезвуглецювання, тобто вигорання вуглецю з поверхні деталей, завжди відбувається при окисленні сталі. Обезвуглецювання різко знижує властивості міцності конструкційної сталі. Крім того, деталі з обезвуглецюваною поверхнею, схильні до появи тріщин та викривлень [27].

Таким чином, проведено аналіз мікроструктури та механічних властивостей гарячекатаного прокату із сталі марки 30ХГСА після відпалу та визначено можливі види браку та заходи щодо його запобігання.

6 ДОСЛІДЖЕННЯ СТРУКТУРИ ТА ВЛАСТИВОСТЕЙ СТАЛІ 30ХГСА ПІСЛЯ ЛАЗЕРНО-ПЛАЗМОВОГО АЗОТУВАННЯ ТА НАНОСТРУКТУРУВАННЯ

6.1 Аналіз методів термічної та мікрометалургійної обробки поверхні

Як показує практичний досвід, руйнування багатьох деталей машин і механізмів в процесі експлуатації практично починається з поверхні [28]. Ресурс роботи, надійність в експлуатації, конструктивна міцність, техніко-економічні показники роботи деталей машин і механізмів багато в чому визначаються механічними властивостями сталей і сплавів, з яких вони виготовляються. Тому поліпшення якості поверхні деталей машин і механізмів підвищує ресурс роботи, особливо якщо він визначається механічними і трибо технічними властивостями поверхні. Зміцнення деталей машин забезпечує економію високоякісного металу, палива, енергетичних і трудових ресурсів, а також раціональне використання природних ресурсів та охорону навколишнього середовища [29].

Управляти властивостями поверхні та її структурою можна з використанням локальних методів термічної та мікрометалургійної обробки поверхні концентрованими і висококонцентрованими потоками енергії: газополум'яними, світлопроменевими, електродуговими, мікроплазмовими, плазмовими, електроіскровими, ультразвуковими, лазерними, електронно-променевими, індукційними та іншими [30].

Якщо при обробці поверхні локальними потоками енергії потрібно збереження геометричних розмірів оброблюваних високоточних деталей вузлів в поле допуску, то, як показує практика, краще застосовувати для обробки висококонцентровані джерела енергії – електронно-променеві та лазерні, так як саме вони забезпечують мінімальні тепловкладення в деталь, що оброблюється, в поєднанні з високою концентрацією енергії, точністю її дозування і високою продуктивністю процесів обробки [31, 32].

Найпростіший спосіб підвищити твердість і зносостійкість поверхні – це хіміко-термічна обробка. Але існуючі в даний час традиційні технологи хіміко-термічної обробки, такі як цементация, азотування, нітроцементация, боридування, мають ряд суттєвих техніко-економічних недоліків. Ці методи мають значну тривалість технологічного циклу, яка досягає декількох десятків годин, високі енергетичні витрати, значні витрати на витратні матеріали, низьку екологічність технологічного процесу.

Технології лазерно-плазмової хіміко-термічної обробки дозволяють в значній мірою усунути недоліки, властиві традиційній хіміко-термічній обробці, і отримати нові якості: знизити собівартість продукції, що випускається, скоротити тривалість технологічного циклу, знизити енерговитрати, при цьому забезпечуючи високу ступінь екологічної безпеки. Також лазерно-плазмова обробка дозволяє виробляти мікро- і субмікроструктурування поверхневого шару за рахунок утворення в поверхневому шарі нітриду, що дозволяє усунути шкідливу технологічну спадковість і підвищити в поверхневому шарі. При такій обробці відбувається оплавлення поверхні виробу і насичення розплаву азотом з лазерної плазми. При кристалізації відбувається утворення нітридів і карбонітридів, які одночасно є новими центрами кристалізації і зміцнюючих частинками. На поверхні формується насичений азотом шар з дрібнодисперсною структурою, зміцненої нітридами і карбонітридами. В результаті такої обробки, так само як при звичайному лазерному загартуванні поверхні, поліпшуються геометричні характеристики шорсткості поверхні, підвищується мікротвердість поверхні, зменшується коефіцієнт тертя [31–36] і збільшується корозійна стійкість. Кінцева мета цього методу – підвищення надійності та довговічності вузлів тертя і механізмів.

Високу техніко-економічну ефективність застосування лазерно-плазмової технології наноструктурування для поліпшення механічних властивостей поверхні розглянемо на прикладі зміцнення при насиченні азотом з лазерної плазми поверхні сталі 30ХГСА.

6.2 Структура та властивості сталі 30ХГСА після лазерно-плазмового азотування та наноструктурування

Розглянемо дослідження структури та властивості сталі 30ХГСА після лазерно-плазмового азотування та наноструктурування на прикладі роботи [37]. Експериментальні зразки зі сталі 30ХГСА піддавалися лазерно-плазмовому насиченню азотом поверхневого шару в атмосфері суміші $\text{Ar} + \text{N}_2 + \text{CH}_4 + \text{H}_2$ з використанням лазера TruDisk1000. Дані компоненти доцільно застосовувати через їх доступність, зручності перенесення в зону обробки, можливості управління процентним співвідношенням хімічних компонентів в широкому діапазоні. Розміри молекул базових компонентів порівнянні з розмірами кристалічної решітки оброблюваного матеріалу, що є необхідною умовою вибору компонента для поверхневого насичення наночастинками в якості модифікатора.

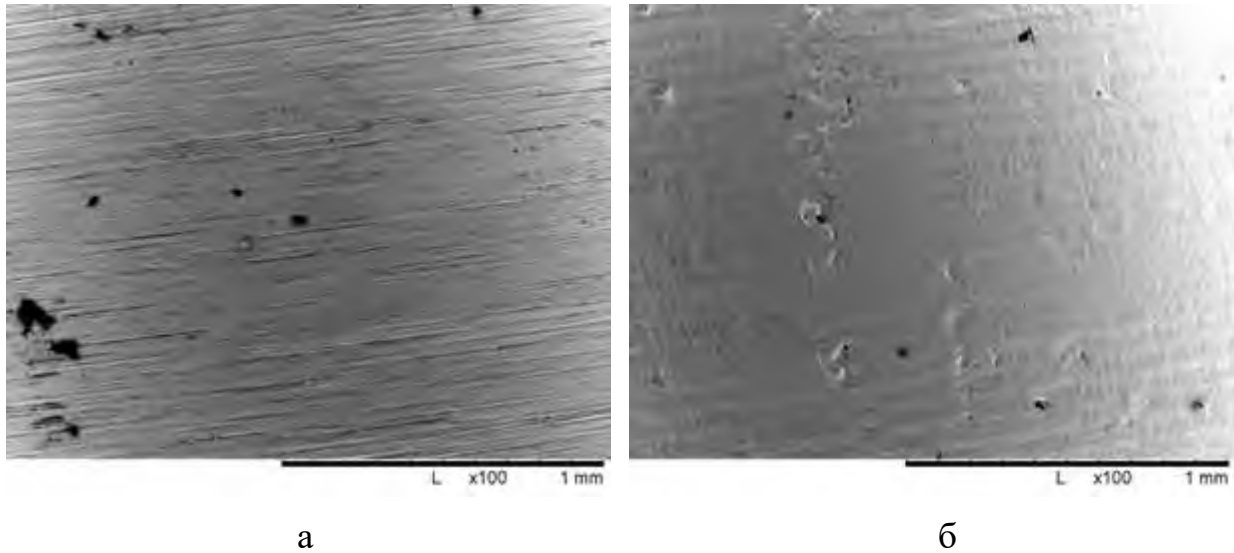
Дослідження мікроструктури та товщини модифікованого шару проводилися на оптичному мікроскопі та на електронному скануючому мікроскопі. Перед зйомкою зображень мікроструктури зразки полірувалися, їх поверхня протруюють 5% -ним спиртовим ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$) розчином азотної кислоти (HNO_3) для виявлення структури. Після проводилася зйомка зображень мікроструктури і модифікованого шару при різних збільшеннях та розрахунок товщини зони термічного впливу і товщини модифікованого шару.

Результати досліджень (рис. 6.1 та рис. 6.2) показують, що в процесі обробки відбувається плавлення металу на поверхні, при цьому присутній хвилеподібний рельєф, сформований променем лазера, і відсутні подряпини.

Структура сталі 30ХГСА феррито-перлитна. У поверхневому шарі, який піддався лазерно-плазмовому азотуванню, зона термічного впливу становить близько від 30мкм до 40 мкм (рис. 6.2а та рис. 6.2б).

На фотографії, отриманої в скануючому електронному мікроскопі (рис. 6.3), видно, що зоні термічного впливу відбулося подрібнення зерна і структура стала перлитною, а саме прошарок цементиту тонше і менше, ніж у

вихідній структурі, карбіди виділилися рівномірно по всьому об'єму (рис. 5.3 (зона термічного впливу)). Імовірно це тростит гарту. Це також можна визначити по твердості, а саме твердість цього шару не перевищує 380 НV. На рис. 6.4 представлена структура зони термічного впливу при більшому збільшенні.



а – вихідна поверхня після чистової механічної обробки, б – поверхня після лазерно-плазмового азотування поверхневого шару

Рисунок 6.1 – Структура поверхні зразків

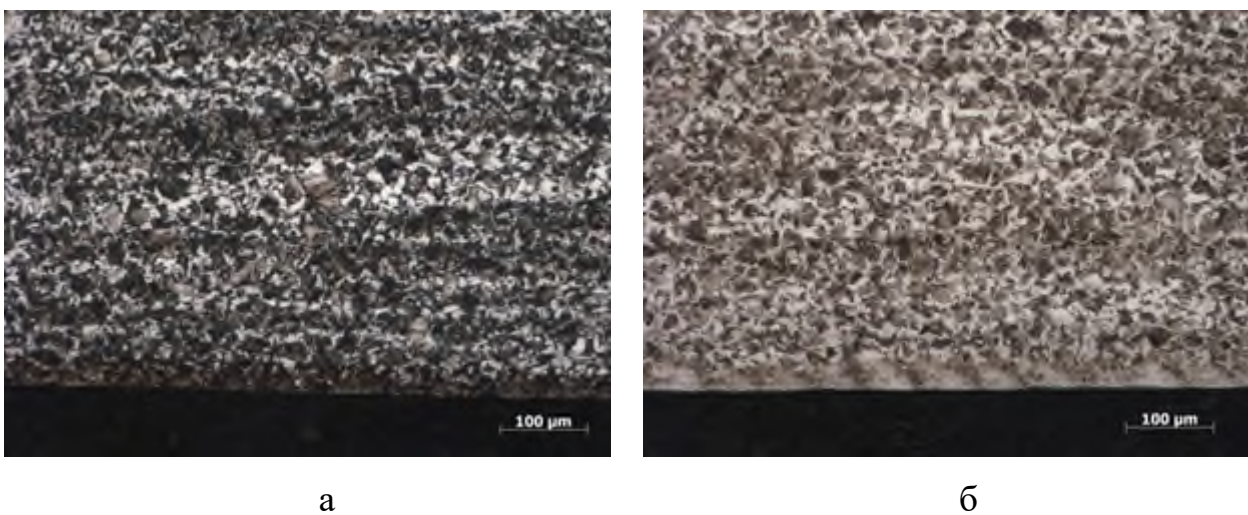
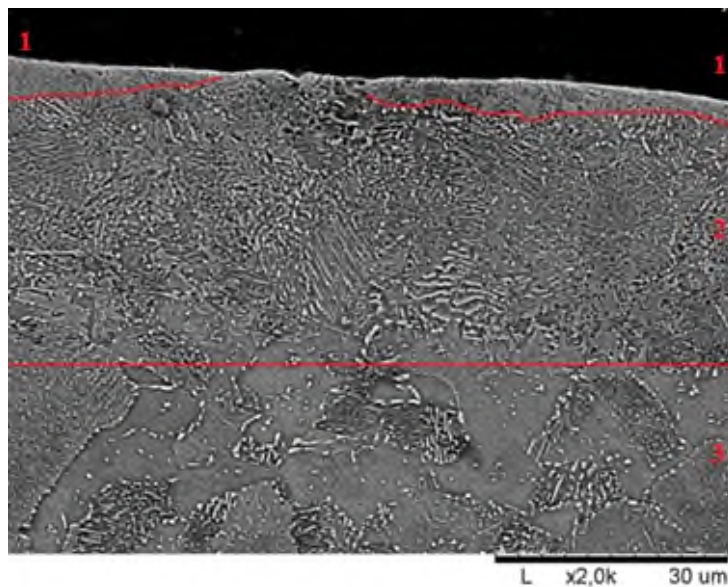


Рисунок 6.2 – Характерний вигляд поперечних шліфів після лазерно-плазмової обробки (а, б)

На фотографіях мікроструктури, отриманих при зйомці поперечних шліфів, видно, що на поверхні зразків утворився тонкий білий шар товщиною від 3 мкм до 5 мкм, насичений азотом. При лазерно-плазмовій обробці відбувається оплавлення поверхневого шару, і азот після дисоціації і освіти приповерхневої плазми розчиняється в рідкому залізі. Цей тонкий шар (рис. 6.3 (азотований шар)), насичений азотом і має структуру мартенситу [38]. На рис. 6.4 представлена структура цього шару при більшому збільшенні.



1 – азотований шар; 2 – зона термічного впливу; 3 – вихідна структура

Рисунок 6.3 – Структура поверхні сталі 30XГСА після лазерно-плазмового азотування

Визначення твердості та мікротвердості поверхневого шару проводилося з використанням мікротвердоміру HVS-1000. Підвищення твердості супроводжується підвищенням зносостійкості, що в свою чергу має збільшити довговічність виробу. На рис. 6.5 представлена зміна мікротвердості по товщині зразка. По твердості можна виділити три характерні зони, а саме азотований шар, зона термічного впливу і основа.

За результатами визначення мікротвердості поверхні після лазерно-плазмової обробки встановлено, що отримані значення перевищують твердість основи зразка в 1,5 рази. Тобто така обробка дозволяє в тонкому поверхневому

шарі значно підвищити мікротвердість, що в свою чергу позитивно вплине на зносостійкість. Також змінюється структура зони, що знаходиться тепловому впливу при лазерній обробці. У цій зоні сформувалася структура тростіта гарту та підвищилася твердість.

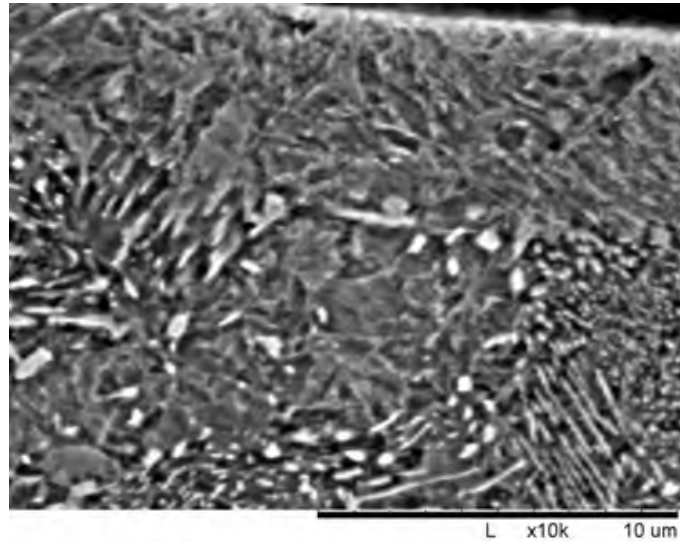


Рисунок 6.4 – Структура азотованого шару сталі 30ХГСА

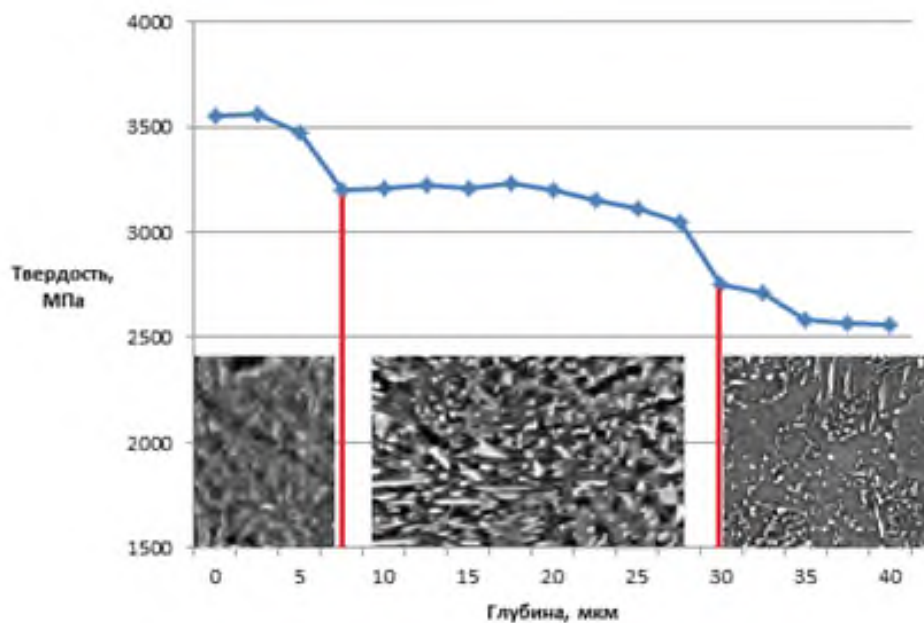


Рисунок 6.5 – Розподіл мікротвердості від краю вглиб зразка

Таким чином, проаналізовано результати дослідження структури та властивостей сталі 30ХГСА після лазерно-плазмового азотування та

наноструктурування та показано, що в поверхневому шарі товщиною від 3 мкм до 5 мкм формується мікро- і субмікроструктурна структура, яка представляє собою мартенсит, і відбуваються утворення неметалевих включень – нітридів і карбідів. При цьому обробка дозволяє в тонкому поверхневому шарі значно підвищити мікротвердість, що в свою чергу позитивно вплине на зносостійкість.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Аналіз сортаменту сталей, що виплавляються на сьогоднішній день, показав, на актуальність виплавки конструкційних марок сталей, зокрема, марки 30ХГСА для виробництва валів, осів, зубчастих коліс, фланців, корпусів обшивки.

2. Проаналізовано способи виплавки конструкційних сталей з підвищеними вимогами до якості та показано, що їх доцільно виплавляти наступними методами: переплавом з використанням кисню, з повним окисненням або у відкритих дугових печах з рафінуванням у печі. Визначено, що сталь марки 30ХГСА з точки зору технологічності процесу, отримання більш якісного металу доцільно виплавляти в дугових сталеплавильних печах методом повного окислення домішок.

3. Розглянуто конструкцію дугової сталеплавильної печі типу ДСП-50, приведено розрахунок її геометричних параметрів.

4. Запропоновано технологічну схему виробництва конструкційної сталі марки 30ХГСА, розроблено технологію її виплавки в дуговій сталеплавильній печі типу ДСП-50 методом повного окислення.

5. Проведено аналіз мікроструктури та механічних властивостей гарячекатаного прокату із сталі марки 30ХГСА після відпалу та визначено можливі види браку та заходи щодо його запобігання.

6. Проаналізовано результати дослідження структури та властивостей сталі 30ХГСА після лазерно-плазмового азотування та наноструктурування та показано, що в поверхневому шарі товщиною від 3 мкм до 5 мкм формується мікро- і субмікрокристалічна структура, яка представляє собою мартенсит, і відбуваються утворення неметалевих включень – нітридів і карбідів. При цьому обробка дозволяє в тонкому поверхневому шарі значно підвищити мікротвердість, що в свою чергу позитивно вплине на зносостійкість.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Значення та структура металургійного виробництва. URL: <https://geografiamozil2.jimdofree.com/%D0%B3%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D0%B2%D0%BD%D0%B0/%D0%BC%D0%B5%D1%82%D0%B0%D0%BB%D1%83%D1%80%D0%B3%D1%96%D0%B9%D0%BD%D0%B8%D0%B9-%D0%BA%D0%BE%D0%BC%D0%BF%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%81-%D1%83%D0%BA%D1%80%D0%B0%D1%97%D0%BD%D0%B8/> (дата звернення: 04.04.2022).
2. Бізнес в офіційних цифрах. Рейтинг. URL: <https://rating.zone/ekonomichnyjohliad-metalurhijnoi-haluzi-ukrainy/> (дата звернення: 04.04.2021).
3. 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).
4. Большаков В. І., Тубольцев Л. Г. Проблеми і роль наукових досліджень у розвитку металургії України. Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии : сб. научн. тр. Дніпропетровськ : ІЧМ НАН України, 2011. Вип. 24. С. 3–28.
5. Гуляев А. П. Металловедение: учеб. для вузов ; 6-е издание, перераб. и доп. Москва : Металлургия, 1986. 543 с.
6. Воскобойников В. Г., Кудрин В. А., Якушев А. М. Общая металлургия: учебн. для вузов. Москва : ИКЦ «Академкнига», 2005. 768 с.
7. ДСТУ 7806:2015. Прокат з легованої конструкційної сталі. Технічні умови; прийнято і надало чинності наказ ДП «УкрНДЦП» від 22.6.2015 р. №61 з 01.04.2016 р. Київ : ДП «УкрНДЦП», 2016. 46 с.
8. Марки стали и сплавов. URL: http://metallischekiy-portal.ru/marki_metallov (дата звернення: 4.04.2022).
9. Сталь марки 30ХГСА. URL: <https://areal-metal.ru/spravka/stal-30hgsa>

(дата звернення: 4.04.2022).

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

11. Воденніков С. А., Галицький Ю. П., Воденнікова О. С. Теорія та технологія електросталеплавильного виробництва : навч. посібн. Запоріжжя : Видавництво Запорізької державної інженерної академії, 2010. 246 с.

12. 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.

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

14. Сборник технологических инструкций по выплавке стали в открытой дуговой печи. Запорожье : ОАО «Днепроспецсталь», 2004. 246 с.

15. 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.

16. 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.

17. ГОСТ 4757-91 (ИСО 5448-81). Феррохром. Технические требования и условия поставки; утверждён и введён в действие Постановлением Комитета стандартизации и метрологии СССР от 29.12.1991 г. №2352 ; действует с 01.01.1993. Москва : Издательство стандартов, 1991, ИПК Издательство стандартов, 2003. 12 с.

18. 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 : Стандаринформ, 2008, Стандартинформ, 2011. 12 с.

19. Украинская ассоциация сталеплавателей. Информационный портал о чёрной и цветной металлургии. URL: <https://uas.su/> (дата звернення: 04.04.2022).

20. Верховлюк А. М., Нарівський А. В., Могиталенко В. Г. Технології одержання металів та сплавів для ливарного виробництва : навч. посіб.; за ред. акад. НАН України В. Л. Найдека. Київ : Видавничий дім «Вініченко», 2016. 224 с. ISBN 978-966-2622-23-2.

21. 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.

22. 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.

23. Emchezgia. URL: <http://emchezgia.ru/ti/0.php> (дата звернення: 04.04.2021).

24. Бахтинов В. Б. Технология прокатного производства : учебн. для техникумов. Москва : Металлургия, 1983. 488 с.

25. Загальні питання прокатного виробництва. URL: <https://studfile.net/preview/4494323/> (дата звернення: 04.04.2022).

26. Гулидов И. Н. Оборудование прокатных цехов (эксплуатация, надежность) : учебн. пособ. для студ. сред. спец. учеб. заведений. Москва : Интермет Инжиниринг, 2004. 320 с.

27. Ромаданов М. С. Участок термической обработки листа из стали 30ХГСА. Челябинск : ЮУрГУ, 2016, 76 с. https://dspace.susu.ru/xmlui/bitstream/handle/0001.74/11717/2016_651_romadanov_ms.pdf?sequence=1

28. Суслов А. Г., Дальский А. М. Научные основы технологии машиностроения. Москва : Машиностроение, 2002. 684 с.
29. Геллер Ю. А. Инструментальные стали. Москва: Металлургия, 1975. 584 с.
30. Полевой С. Н., Евдокимов В. Д. Упрочнение машиностроительных материалов. Москва : Машиностроение, 1994. 496 с.
31. Кайдалов А. А. Электронно-лучевая сварка и смежные технологии. Киев : Экотехнология, 2004. 155 с.
32. Спиридонов Н. В., Кобяков О. С., Куприянов И. Л. Плазменные и лазерные методы упрочнения деталей машин / под ред. Чанина В. Н. Минск : Выш. шк., 1988. 155 с.
33. Heitkemper M., Fischer A., Bohne Ch., Pyzalla A. Wear mechanisms of laser hardened martensitic high-nitrogen-steels under sliding wear. *Wear*. 2001. vol. 250. Issue 1–12. pp. 477–484. [https://doi.org/10.1016/S0043-1648\(01\)00659-7](https://doi.org/10.1016/S0043-1648(01)00659-7)
34. Sridhar K., Katkar V.A., Singh P.K., Haake J.M. Dry sliding friction wear behaviour of high power diode laser hardened steels and cast iron. *Surface Engineering*. 2007. vol. 23. Issue 2. pp. 129–141. <https://doi.org/10.1179/174329407X174461>
35. Shariff S. M., Pal T. K., Padmanabham G., Joshi S. V. Sliding wear behaviour of laser surface modified pearlitic rail steel. *Surface Engineering*. 2010. vol. 26. Issue 3. pp.199–208. <https://doi.org/10.1179/174329409X455458>
36. Safonov A. N., Aleksenko S. I. Effect of laser treatment on the wear resistance of Steels. *Metal Science and Heat Treatment*. 1998. vol. 40. pp. 399–401.
37. Павлов М. Д., Чердынцев В. В., Степашкин А. А., Данилов В. Д. Структура та властивості сталі 30ХГСА після лазерно-плазмового азотування та наноструктурування. *Современные проблемы науки и образования*. 2013. №6. URL: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=10986> (дата звернення: 02.06.2022).
38. Лахтин Ю. М., Коган Я. Д. Азотирование стали. Москва : Машиностроение, 1976. 256 с.