


ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
«МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»

ОСНОВИ МЕТАЛУРГІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ:  
КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ

Запоріжжя, 2025



УДК 669.017 (072)  
072

Рекомендовано Науково-методичною  
радою ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ  
УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ  
ПОЛІТЕХНІКА»  
(протокол №2 від 21.11.2025 р.)

**Укладачі:**

*Малій Х.В. канд. техн. наук, доцент  
Малій О.Г.*

072            Основи металургійних технологій : конспект лекцій / уклад.: Х. В. Малій,  
О. Г. Малій. Запоріжжя : ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ  
ПОЛІТЕХНІКА», 2025. 306 с.

Конспект лекцій з дисципліни «Основи металургійних технологій» призначений для студентів спеціальності G10 Металургія. У конспекті систематизовано базові знання про технологічні процеси чорної металургії, що охоплюють усі основні етапи виробництва — від підготовки сировини до отримання готової металопродукції. Матеріал структуровано за тематичними розділами: агломераційне, сталеплавильне, прокатне виробництво, позапічна обробка та розливання сталі. У кожній темі подано теоретичні основи процесів, будову основного обладнання, особливості технологічних схем, а також питання для самоконтролю. Конспект призначений для використання у навчальному процесі під час вивчення дисципліни, підготовки до поточного та підсумкового контролю знань. Він сприяє формуванню у студентів цілісного уявлення про сучасні металургійні технології та закономірності їх розвитку.

УДК 669.017 (072)

© ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА», 2025



## ЗМІСТ

ВСТУП	7
ТЕМА 1. АГЛОМЕРАЦІЙНЕ ВИРОБНИЦТВО	9
1.1 Поняття про металургійний комплекс	9
1.2 Чорна металургія	13
1.3 Агломераційне виробництво	15
1.4 Виробництво агломерату	18
1.5 Виробництво обкатишів (окотишів/окатків/котунів)	19
1.6 Сировинні матеріали доменної плавки	24
1.7 Підготовка сировини до доменної плавки	30
1.8 Доменна піч	31
1.9 Перетворення матеріалів в доменній печі	35
1.10 Виробництво чавуну в доменних печах	37
Питання до самоконтролю	39
ТЕМА 2. СТАЛЕПЛАВИЛЬНЕ ВИРОБНИЦТВО	42
2.1 Історія виплавки сталі	42
2.2 Конвертерне виробництво	45
2.3 Суть конверторного процесу	49
2.4 Різновиди і варіанти конверторних процесів	51
2.5 Шихтові матеріали конверторного процесу	53
2.6 Технологія киснево-конверторної плавки	57
2.7 Матеріальний і тепловий баланси плавки	58
2.8 Виробництво сталі в подових агрегатах	60
2.9 Принцип роботи мартенівської печі	64
2.10 Паливо та шихтові матеріали доменної плавки	66
2.11 Різновиди мартенівського процесу	67
2.12 Схема роботи ДСПА (двохванний сталеплавильний агрегат)	68
2.13 Електрометалургійний спосіб отримання сталі	71
Питання до самоконтролю	75
ТЕМА 3. ПОЗАПІЧНА ОБРОБКА	78
3.1 Технології рафінування чавуну	81
3.2 Сучасні способи видалення з чавуну кремнію, фосфору і сірки	88
3.3 Суть та методи розкислення сталі	95
3.4 Феросплави	98



3.5	Легування сталі	101
3.6	Рафінування сталі	104
3.7	Продувка нейтральними газами	106
3.8	Обробка сталі на установках «ківш-піч»	108
3.9	Обробка сталі при пониженому тиску (вакуумування)	110
	Питання до самоконтролю	115
ТЕМА 4. РОЗЛИВАННЯ СТАЛІ		118
4.1	Обладнання для розливки сталі в зливки	121
4.2	Технологія розливки сталі в зливки	126
4.3	Характерні типи дефектів злиwkів	132
4.4	Суть безперервної розливки сталі, типи та обладнання машин безперервного лиття заготовки (МБЛЗ), технологія розливки	135
	Питання до самоконтролю	144
ТЕМА 5. ТЕОРЕТИЧНІ ЗАСАДИ ПРОКАТНОГО ВИРОБНИЦТВА		146
5.1	Загальна характеристика процесів обробки металів тиском	146
5.2	Діаграма деформування (розтягу)	147
5.3	Закони пластичного деформування	149
5.4	Зміна структури матеріалів при обробці тиском	150
5.5	Вплив факторів на процеси обробки тиском металів	152
5.6	Види обробки металів	153
5.7	Осередок деформації при прокатці і його геометричні характеристики	158
5.8	Визначення пластичної деформації при прокатці	160
5.9	Стадії процесу прокатки	161
5.10	Випередження та відставання. Нейтральний переріз. Нейтральний кут	162
5.11	Тертя при прокатці	164
5.12	Технологічні фактори, що впливають на коефіцієнт тертя	165
	Питання до самоконтролю	167
ТЕМА 6. ТЕХНОЛОГІЇ ПРОКАТНОГО ВИРОБНИЦТВА		170
6.1	Історія прокатного виробництва	170
6.2	Способи прокатки	172
6.3	Продукція прокатного виробництва	173
6.4	Заготовки для прокатного виробництва	176



6.5 Холоднокатаний лист	179
6.5.1 Технологія виробництва холоднокатаної сталі	180
6.5.2 Виробництво сталевих холоднокатаних листів	181
6.5.3 Класифікація листа холоднокатаного	182
6.5.4 Переваги та недоліки холоднокатаного металу	183
6.5.5 Використання холоднокатаного прокату	184
6.6 Гарячекатаний лист	185
6.6.1 Етапи виробництва прокату листового гарячекатаного	185
6.6.2 Класифікація гарячекатаного прокату	186
6.6.3 Переваги та недоліки гарячекатаної сталі	188
6.6.4 Галузь застосування	189
6.6.5 Порівняння гарячекатаного і холоднокатаного прокату	190
6.7 Технологія отримання сортового та фасонного прокату	192
6.7.1 Основні відмінності сортового та фасонного прокату	192
6.7.2 Виробництво сортового прокату	193
6.7.3 Класифікація сортового та фасонного прокату	194
6.7.4 Застосування сортового і фасонного прокату	195
6.8 Технологія виготовлення безшовних труб	196
6.8.1 Види безшовних виробів	197
6.8.2 Технологія виробництва безшовних труб	197
6.8.3 Переваги та недоліки безшовних труб	199
6.8.4 Сфера застосування	199
6.9 Технологія виготовлення зварних труб	200
6.9.1 Різновиди зварних трубних виробів	201
6.9.2 Способи виготовлення зварних труб	202
6.9.3 Переваги та недоліки зварних тру	204
6.10 Технологія виготовлення спеціального прокату	204
6.11 Обладнання прокатного виробництва	205
6.12 Основне обладнання прокатного виробництва	206



6.12.1 Робочий інструмент при прокатці	206
6.12.2 Матеріал та виготовлення валків	208
6.12.3 Якість валків	210
6.12.4 Робоча кліть	211
6.12.5 Визначення головної та технологічної лінії прокатного стану	212
6.13 Прокатний стан	213
6.13.1 Класифікація прокатних станів за призначенням	214
6.13.2 Класифікація прокатних станів за кількістю валків	215
6.13.3 Класифікація прокатних станів за кількістю та розташуванням клітей	217
6.14 Обтискні стани	218
6.14.1 Блюмінг	219
6.14.2 Слябінг	222
6.14.3 Блюмінг-слябінг	226
6.15 Прокатні стани для виробництва листової металопродукції гарячою прокаткою	226
6.16 Стани холодної прокатки	235
6.17 Сортові стани	237
6.18 Дротові стани	244
6.19 Смугові стани	246
6.20 Сортоправильні машини	248
6.21 Трубопрокатні стани	257
6.22 Стани спеціального призначення	262
6.23 Допоміжне обладнання прокатних цехів	271
6.23.1 Транспортна група	271
6.23.2 Обробна група	285
6.23.3 Поворотні, підйомні та підйомно-поворотні механізми та пристрої	297
Питання до самоконтролю:	301
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	304



## ВСТУП


Металургія є однією з найдавніших і водночас найважливіших галузей промислового виробництва, яка відіграє визначальну роль у розвитку цивілізації. З моменту, коли людина навчилася добувати метали з руд, розпочався новий етап у створенні знарядь праці, зброї, будівельних матеріалів і технічних пристроїв. Протягом тисячоліть металургія не лише забезпечувала людство матеріалами, але й визначала рівень науково-технічного прогресу, розвиток машинобудування, транспорту, енергетики та будівництва.

У сучасних умовах металургійна галузь залишається базовою складовою промислового комплексу будь-якої розвиненої країни. Вона забезпечує стратегічні потреби економіки у металевій сировині та готовій продукції, створює основу для виробництва машин, механізмів, конструкцій, інструментів, транспортних засобів, електротехнічного обладнання та приладів. Без сталого функціонування металургійного комплексу неможливий розвиток ані промисловості, ані інфраструктури.

Україна традиційно належить до провідних металургійних держав світу. Її чорна металургія має потужну сировинну базу, високу концентрацію виробництва та розвинену систему технологічних зв'язків між гірничо-збагачувальними комбінатами, коксохімічними, агломераційними, доменними, сталеплавильними й прокатними підприємствами. Історія становлення вітчизняної металургії налічує понад століття і нерозривно пов'язана з розвитком промислових регіонів країни – насамперед Придніпров'я, Донбасу та Приазов'я.

Водночас сучасна металургія стикається з низкою викликів: нестачею інвестицій у модернізацію виробництва, моральним і фізичним зносом обладнання, зростанням енергоємності процесів, екологічними проблемами та необхідністю впровадження інноваційних технологій. Розвиток світового ринку металів, поява нових матеріалів і технологій вимагають від майбутніх фахівців не лише глибоких знань класичних методів отримання металів, а й розуміння сучасних тенденцій розвитку металургійної науки й виробництва.

Дисципліна «Основи металургійних технологій» формує фундаментальні знання про структуру металургійного комплексу, сутність основних технологічних процесів, види сировини, паливо, допоміжні



матеріали та обладнання, що використовуються у виробництві металів. Вона охоплює основні напрями чорної металургії: агломераційне, доменне, сталеплавильне, позапічне та прокатне виробництво. Особливу увагу приділено сучасним методам очищення, легування та розливання сталі, а також технологіям гарячої й холодної прокатки.

Метою вивчення курсу є формування у студентів системного уявлення про закономірності протікання металургійних процесів, взаємозв'язок між стадіями технологічного циклу та вплив різних факторів на якість готової продукції. Під час вивчення дисципліни майбутні інженери-металурги отримують знання про фізико-хімічні основи процесів виплавки й обробки металів, опановують принципи роботи металургійного обладнання, набувають навичок аналізу технологічних схем і вибору оптимальних режимів виробництва.

Запропонований конспект лекцій є навчально-методичним матеріалом, що допомагає студентам систематизувати знання з основ металургійних технологій. Матеріал викладено у логічній послідовності відповідно до програми навчальної дисципліни, з урахуванням сучасних наукових досягнень, технічних рішень та актуальних напрямів розвитку галузі.

Вивчення курсу сприятиме формуванню професійної компетентності майбутніх фахівців у сфері металургії, розвитку інженерного мислення, умінню аналізувати та вдосконалювати технологічні процеси з урахуванням енергозбереження, екологічної безпеки й економічної ефективності.



## ТЕМА 1. АГЛОМЕРАЦІЙНЕ ВИРОБНИЦТВО

### 1.1 Поняття про металургійний комплекс

Металургія належить до найдавніших видів виробництва у світі. Археологічні знахідки в країнах Європи та на Близькому Сході свідчать про те, що люди ще з давніх часів займалися обробкою металів. Спочатку вони користувалися лише природними самородками — срібла, міді, олова та метеоритного заліза, з яких виготовляли знаряддя праці та зброю. Початок справжньої металургії пов'язують із відкриттям способів отримання металів із руд. Саме тоді з мідних та олов'яних руд, сплавивши два метали, було створено перший сплав — бронзу. Значно пізніше людство навчилося виплавляти залізо з руди.

Стрімкий розвиток металургії розпочався в період промислових революцій XVIII століття, коли збільшилися обсяги виробництва металів, удосконалилися технології їх добування та поліпшилася якість продукції. Сьогодні металургійна галузь виробляє понад 75 видів металів і численні сплави на їхній основі.

У сучасному світі метали залишаються одним із ключових матеріалів для виготовлення машин, обладнання, інструментів і будівельних конструкцій. Вони широко застосовуються у зведенні споруд — для арматури, залізобетонних елементів, металопластикових конструкцій. З високоякісної сталі та кольорових сплавів виготовляють побутові вироби, а благородні метали використовуються у ювелірній справі.

У XVIII–XX століттях найбільш поширеними металами були сплави заліза — чавун і сталь. Проте нині, із загальною тенденцією до зниження металомісткості виробництва, їхнє домінування поступово зменшується. З розвитком електроніки, електротехніки та робототехніки зростає попит на кольорові, рідкісноземельні й високотехнологічні матеріали — леговані сплави та композити з металевими матрицями. Металокераміка дедалі частіше застосовується в авіаційній, автомобільній, радіотехнічній, харчовій промисловості та медицині.

Українська металургійна промисловість має глибокі історичні корені — її становлення почалося ще в період індустріалізації другої половини XIX століття. Основні етапи розвитку металургійного комплексу України наведено в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 - Основні етапи розвитку металургійної промисловості України

Етап	Період	Коротка характеристика
Перший	1870-1913 рр.	Зародження та розвиток чорної металургії на території сучасної України. Так, у 1872 році було введено в експлуатацію перший металургійний завод.
Другий	1914-1918 рр.	Застій у розвитку, що пов'язаний з періодом Першої світової війни.
Третій	1918-1940 рр.	Відбудова металургії та період її активного розвитку, що передбачав будівництво нових металургійних заводів («Азовсталь», «Криворіжсталь», «Запоріжсталь», «Дніпроспецсталь» тощо), що й сьогодні залишаються одними з лідерів в даній галузі.
Четвертий	1940-1945 рр.	Застій у розвитку, що пов'язаний з періодом Другої світової війни.
П'ятий	1945-1990 рр.	Постійне зростання металургійного виробництва, що було спрямоване на задоволення виробничих потреб Радянського Союзу.
Шостий	1990-1999 рр.	Період нестабільного розвитку, що визначався поступовим переходом до ринкової економіки та розірванням усталених господарських зв'язків.
Сьомий	2000-2013 рр.	Один з найбільш яскравих періодів у розвитку вітчизняної металургії, що характеризується збільшення обсягів виробництва сталі, що дало змогу Україні посідати 7-8 місце в світі за даними World Steel Association.
Восьмий	2014 – по теперішній час	Значний спад у розвитку металургійної галузі, що обумовлено загостренням воєнного конфлікту на сході країни, адже значна частина металургійних підприємств знаходиться на тимчасово окупованій території. Зокрема, внаслідок пошкодження та руйнування припинили свою діяльність.

У природі метали у вільному, самородному стані трапляються досить рідко. До таких належать золото, платина, а іноді — срібло, мідь, ртуть і олово. Переважна більшість металів у земній корі знаходиться у формі хімічних сполук. Тому основна суть металургійного виробництва полягає у видобуванні чистих металів шляхом переплавлення цих сполук.

Попри швидкий розвиток сучасних високотехнологічних галузей, людство й досі не може обійтися без металургії. Це одна з ключових сфер, результати якої ми використовуємо щодня — у транспорті, будівництві, машинобудуванні, побуті. Водночас металургія залишається базовою галуззю для промисловості: вона забезпечує сировиною будівництво, суднобудування, машинобудування, авіа- та оборонну промисловість. Саме тому металургійний комплекс є однією з провідних складових народного господарства України.

Металургійний комплекс (рис. 1.1) являє собою цілісну систему, що об'єднує різноманітні підприємства — гірничо-збагачувальні комбінати, металургійні та феросплавні заводи, коксохімічні підприємства, збагачувальні фабрики тощо. Усі вони пов'язані єдиним технологічним ланцюгом і формують складну виробничо-технічну інфраструктуру.

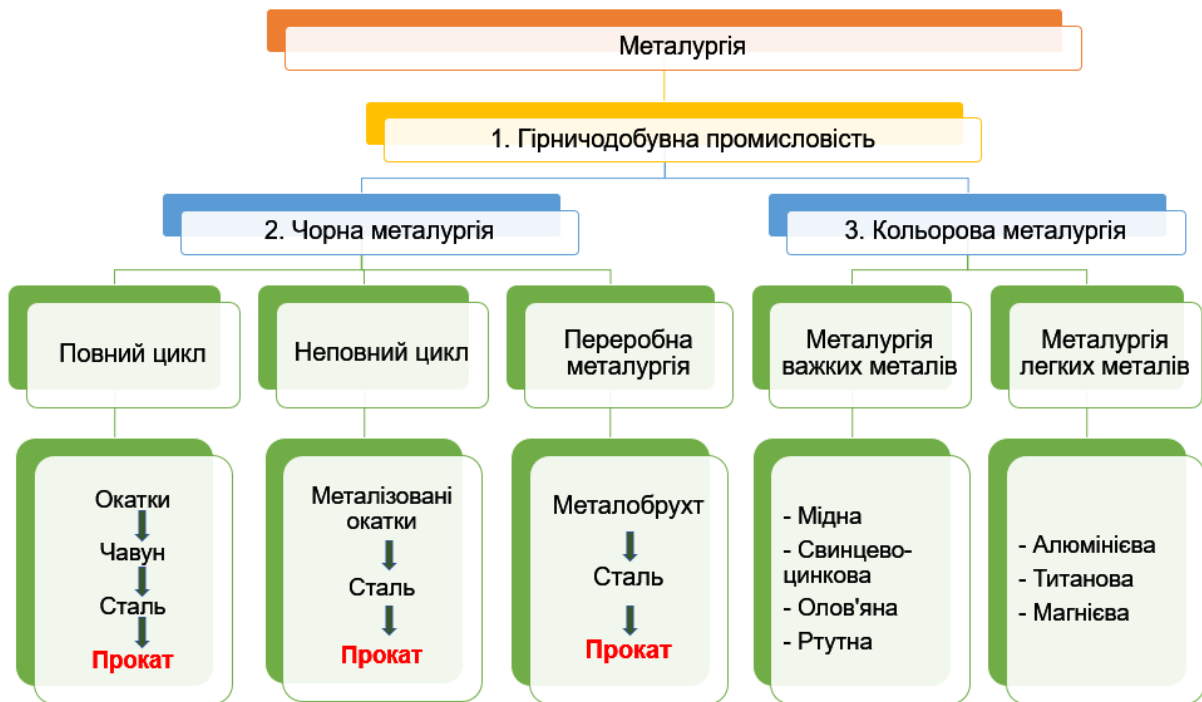



Рисунок 1.1 – Структура металургійного виробництва



Металургія охоплює три взаємопов'язані напрями: гірничодобувну промисловість, чорну та кольорову металургію. Одним із перспективних шляхів розвитку вітчизняної галузі є розширення виробництва високотехнологічної продукції з більшою доданою вартістю, що сприятиме підвищенню конкурентоспроможності на світовому ринку.

Такий ланцюг охоплює низку технологічних процесів, починаючи від видобутку та збагачення сировини до отримання готової продукції й складається з наступних стадій:


- 1) видобуток залізної руди, марганцевої руди, глини, вапняків, коксівного вугілля, флюсів;
- 2) збагачення руд, виробництво агломерату, коксу;
- 3) виплавки сталі, чавуну, виробництво прокату, труб тощо;
- 4) виробництво феросплавів, виплавка електросталі та сплавів, профільного прокату, порошкової металургії;
- 5) використання відходів металургії: виробництво будівельних матеріалів, азотних добрив, пластмас та ін.

В сучасних умовах на розвиток металургійного виробництва впливає ряд негативних чинників, що мають світовий масштаб, зокрема:

- 1) падіння попиту на вироби з металу, що все більше не витримують конкуренції з боку пластмас;
- 2) зменшення цін на металургійну сировину та готову продукцію, що стало підґрунтям для зростання конкуренції на зовнішніх ринках та зменшення доходів. Такі зміни пов'язані зі збільшенням обсягів виробничих потужностей у країнах Близького Сходу, Африки та особливо Китаю, що є лідером у металургійному виробництві;
- 3) фінансові потрясіння;
- 4) зниження обсягів виробництва, що потрібно розглядати як ознаку глобального скорочення масштабів металургійного виробництва.

Важливим індикатором розвитку металургійного комплексу України є обсяги експорту. Завдяки значному експортному потенціалу ця галузь забезпечує надходження валюти до країни, що позитивно впливає на валютний ринок і стабільність національної економіки.

Разом із тим аналіз сучасного стану металургії свідчить про наявність низки проблем, які призвели до скорочення виробництва. Серед основних чинників, що негативно впливають на галузь, варто відзначити:

- 
- відсутність активних інноваційних процесів і сучасних наукових розробок, що зумовило повільні темпи модернізації;
  - зниження рівня іноземних інвестицій через нестабільну політичну та економічну ситуацію в країні;
  - використання застарілого обладнання та зношених виробничих потужностей;
  - недостатню державну підтримку, брак стратегічних програм розвитку та фінансування;
  - слабкий розвиток внутрішнього ринку металопродукції й зменшення купівельної спроможності споживачів;
  - наслідки воєнного конфлікту, зокрема втрату зв'язків із російськими партнерами;
  - підвищення цін на сировину, енергоносії та транспорт при одночасному падінні світових цін і попиту на металопродукцію, що скорочує прибутки підприємств;
  - загострення екологічних проблем, пов'язаних із діяльністю металургійних виробництв.

Подолання цих викликів є необхідною умовою відновлення стабільного розвитку та зміцнення позицій української металургії на світовому ринку.

## **1.2 Чорна металургія**

Сьогодні чорна металургія посідає провідне місце серед галузей промисловості України та має виражену експортну спрямованість. На початку 1990-х років у нашій країні видобували близько 13% світових запасів залізної руди, а також виробляли значні обсяги чавуну, сталі та прокату. Хоча останніми роками виробництво в металургійному комплексі дещо скоротилося, частка цієї галузі у структурі промислової продукції помітно зростає.

Основною сировиною для чорної металургії є залізна та марганцева руди, хроміти, а також руди кольорових металів — нікелю, кобальту, вольфраму. Важливим джерелом металу слугує металобрухт. Як паливо найчастіше використовують кокс і природний газ, а серед допоміжних матеріалів — флюсові вапняки, доломіти, вогнетривкі глини та формувальні піски.



Для чорної металургії характерні концентрація та комбінування виробництва. Близько 90% усього обсягу чавуну, сталі й прокату в Україні випускають металургійні комбінати повного циклу, потужність яких перевищує 1 млн тонн на рік. До складу таких підприємств, окрім основного виробництва, входять коксохімічні заводи, агломераційні фабрики, електростанції, підприємства будівельних матеріалів, азотно-тукові заводи тощо.

Оскільки більша частина собівартості чавуну припадає на сировину й паливо (зокрема кокс становить до 50%), вирішальними чинниками розміщення металургійних підприємств є наявність паливно-сировинної бази. Натомість переробна та мала металургія орієнтуються на споживача — великі машинобудівні заводи, а виробництво сталі в електропечах — на джерела електроенергії. Для ефективної роботи підприємств також потрібні значні водні ресурси.

В Україні історично сформувалися три основні райони чорної металургії — Донецький, Приазовський і Придніпровський.

Придніпровський район базується на видобутку залізних руд Криворізького, Кременчуцького та Білозерського басейнів, марганцевих руд Нікопольського і Великотокмацького родовищ, а також флюсів Дніпропетровщини. Тут розташовані основні металургійні вузли — Дніпровський (Дніпро, Кам'янське, Новомосковськ), Запорізький, Криворізький, Нікопольський і Кременчуцький.

Донецький район виник поблизу покладів коксівного вугілля, а сировину отримує з Придніпров'я. Тут діють Донецько-Макіївський, Алчевсько-Алмазьянський, Єнакіївський вузли та окремі центри — Краматорськ, Харцизьк, Костянтинівка.

Приазовський район використовував руди Керченського півострова та привізні ресурси з Криворізького басейну. Після зупинення діяльності Керченських рудників у регіоні залишилися два великі підприємства в Маріуполі, серед яких комбінат «Азовсталь», що має (мав) найбільший в Україні листопрокатний стан.

Серед головних викликів галузі — потреба у модернізації виробництва, впровадженні нових технологій, підвищенні якості чорних металів і розширенні асортименту сучасних видів сталі та прокату.

Чорна металургія є складним виробничим комплексом (рис. 1.2), у якому провідне значення має послідовна металургійна переробка за

повним циклом. Металургійні комбінати повного циклу здебільшого орієнтуються на сировину та паливо, адже саме на ці ресурси припадає 85–90 % загальних витрат на виплавлення чавуну. З них близько 50 % становить кокс, а 35–40 % — залізна руда. Важливе значення також мають наявність водних ресурсів і допоміжних матеріалів.

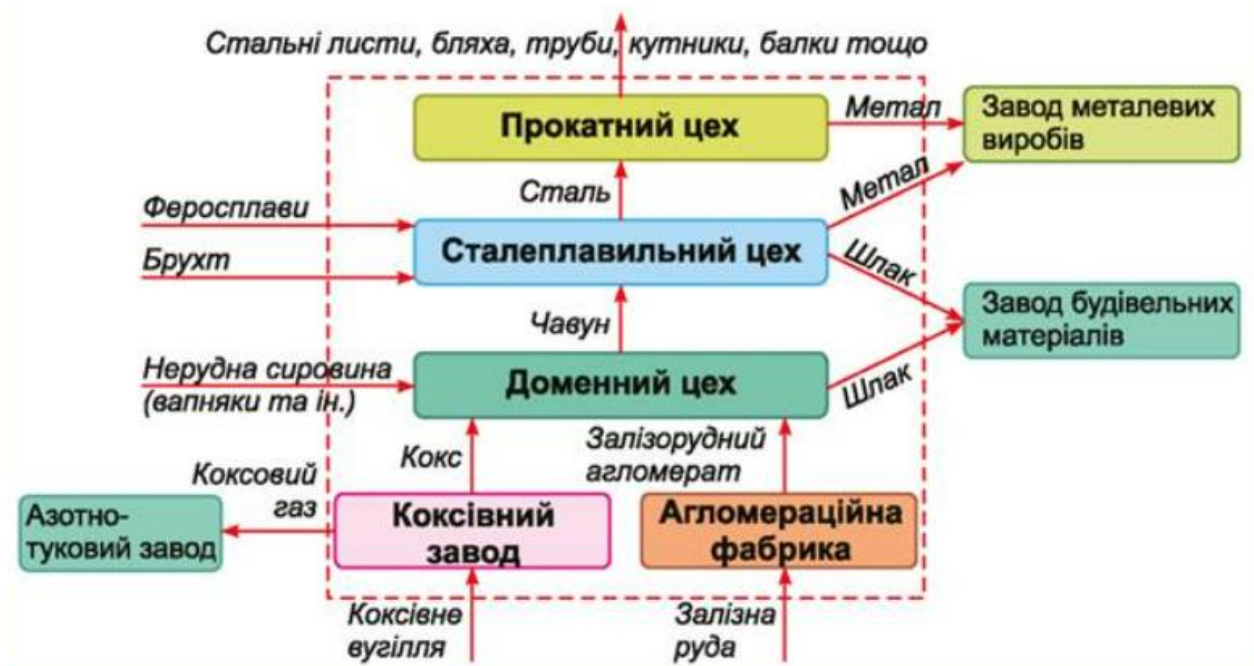


Рисунок 1.2 – Схема металургійного комбінату повного циклу

### 1.3 Агломераційне виробництво

Аглодоменне виробництво — це початкова стадія повного металургійного циклу чорної металургії, у якій здійснюється підготовка та переробка сировини для виплавлення чавуну. Воно об'єднує два основні процеси: агломераційне виробництво (аглофабрика) та доменне виробництво (доменний цех).

Агломераційна фабрика (аглофабрика) - частина металургійного заводу або гірничо-збагачувального комбінату, на якій виробляють агломерат, готують шихту до використання в доменних печах. У складі металургійного комбінату аглофабрику, поруч із фабриками

обкомковування і коксохімічними виробництвами, відносять до групи цехів, які забезпечують діяльність доменного цеха.

Агломераційна фабрика (рис. 1.3) є складним комплексом споруд, механізмів і машин, що забезпечують підготовку руд і концентратів до спікання, власне агломерацію та обробку готового спіку. Серед основного обладнання аглофабрик - агломераційні машини, охолоджувачі агломерату, конвеєрне обладнання, проміжні бункери, тягодуттєве обладнання, газоочисні споруди. До складу деяких агломераційних фабрик входять спеціальні гаражі для розморожування вагонів у зимових умовах, вагоноперекидачів, для приймання шихтових матеріалів, усереднювальні склади.

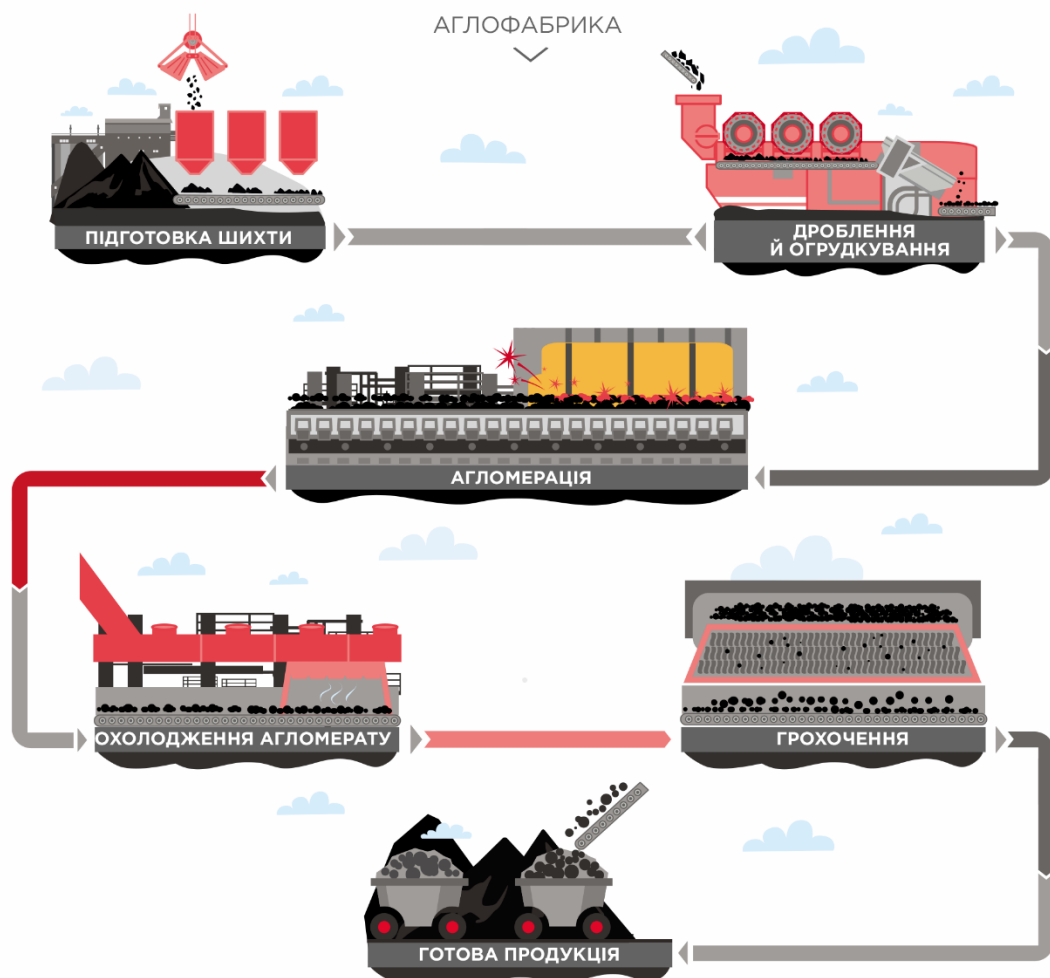



Рисунок 1.3 – Схема аглофабрики [1]



Агломерат – це продукт спікання дрібнозернистої залізорудної сировини. Для виробництва використовують аглоруду (залізорудний дріб'язок), залізорудний концентрат, флюсовий вапняк, коксовий дріб'язок. Крім того, використовується так званий «повертання» – дрібний агломерат, що не спікся. Відходи металургійного виробництва – окалина, шлами та колошниковий пил чи повертання – сприяють зменшенню використання дорогого концентрату, руди та коксового дріб'язку.

Залізорудний концентрат – продукт збагачення руди, вміст елементів і мінералогічний склад якого відповідають вимогам подальшої металургійної переробки.

Флюсовий вапняк – осадова гірська порода, що складається головним чином з кальциту з домішками глинистого матеріалу, кремнезему, оксидів заліза та інших. Найпоширеніший різновид карбонату кальцію.

Кокс – вид твердого палива, яке одержують нагріванням кам'яного вугілля, торфу тощо до високих температур без доступу повітря.

Окалина – продукт окиснення поверхні металу у газовому середовищі.

Шлам – дрібні пилові частинки, які утворюються в результаті видобутку і переробки різних сировинних матеріалів.

Колошниковий пил — пил, що виноситься з доменної печі через колошник разом з колошниковим газом і складається з дуже дрібних твердих часточок шихтових матеріалів — залізорудних матеріалів, коксу і флюсу (вапняку або інших).

Повертання (повернення) – дрібний агломерат, що не спікся.

Шихта – суміш вихідних матеріалів у заданому кількісному співвідношенні, наприклад суміш матеріалів (руди, шлаку, коксу, вугілля), що їх переробляють у металургійних, хімічних та інших технологічних процесах. При спіканні шихти у металургійній печі, з руди виплавляють чистий метал.

Постіль – повертання чи велика фракція шихти, яку виділяють гуркотінням.

Перед подачею в доменну піч дрібна залізорудна сировина проходить процес агломерації, у результаті чого утворюється агломерат — оптимальний за розміром і складом матеріал.

## 1.4 Виробництво агломерату

Агломерація — це процес перетворення дрібнозернистої залізорудної сировини, концентратів та колошникового пилу у більші шматки шляхом спікання. Це відбувається внаслідок згоряння палива у шарі матеріалу, який спікається.

Отриманий продукт — агломерат — має вигляд пористих грудок чорного кольору. Його можна розглядати як спечену руду або спечений концентрат, придатний для використання в доменному виробництві.

Виготовлення агломерату здійснюється на агломераційних фабриках, що включають: обладнання для підготовки шихти; стрічкові (конвеєрні) агломераційні машини; установки для дроблення, охолодження та сортування агломерату.

Агломераційна машина (рис. 1.4) являє собою конвеєр із низки спікальних візків 1 із колосниками, які рухаються замкненими напрямними шляхами. На верхній гілці візки щільно прилягають один до одного, утворюючи робочу зону спікання, тоді як на нижній — холосту. Переміщення візків на робочій частині здійснюється шляхом їх підйому з холостої гілки та прошовування спеціальними приводними зірочками 7.

На початку робочої гілки конвеєра на візки, що рухаються, живильники 2 подають постіль — шар із великих шматків руди. Після цього інший живильник 3 насипає основну шихту завтовшки 350–500 мм.

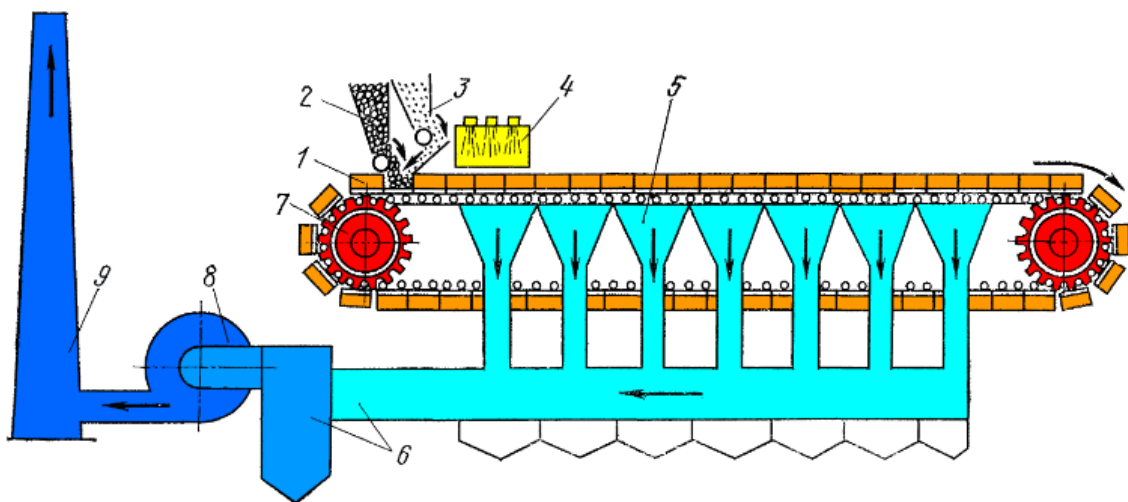



Рисунок 1.4 - Схема агломераційної машини



Під час проходження візків під горном 4, де працюють газові пальники, тверде паливо у верхньому шарі шихти запалюється. У зоні горіння температура сягає приблизно 1450°C. Під шихтою, у вакуум-камерах, створюється розрідження, завдяки якому гарячі гази проходять через шар матеріалу, поступово запалюючи частинки палива в нижніх шарах.

Продукти згоряння потрапляють через вакуум-камери 5 та газоходи до пиловловлювачів 6, а потім відводяться у димову трубу 9. Розрідження величиною 10–25 кПа створюється спеціальним вентилятором — ексгаустером.

У процесі охолодження розплавлена маса спікається, утворюючи суцільний шар — так званий «пиріг» агломерату. При його скиданні візки зазнають легкого удару, що допомагає очистити колосникову решітку від частинок, які застрягли між колосниками, та відокремити шматки агломерату, що прилипли до металеві решітки.

Етапи отримання агломерату (рис. 1.5) забезпечують продукцію потрібної якості для ефективної роботи доменних печей і подальшого виплавлення чавуну.

### **1.5 Виробництво обкатишів (окотишів/окатків/котунів)**

Розширення використання бідних залізних руд та прагнення до глибшого їх збагачення спричинило появу тонкодисперсних залізорудних концентратів (розмір частинок менше 0,07 мм). Для такої сировини традиційні методи окускування виявилися неефективними, тому було розроблено новий спосіб — процес огрудкування (обкатування/обливання).

Виробництво окатишів передбачає формування залізорудної сировини у гранули певного розміру, придатного для ефективної роботи доменних печей. На практиці концентрат змішують із флюсами, сполучними добавками, зволожують, огрудковують і потім обпалюють. Процес включає дві основні стадії: отримання сирих (мокрих) окатишів та зміцнення їх під час термообробки — підсушування при 300–600 °C і випалу при 1200–1350 °C.

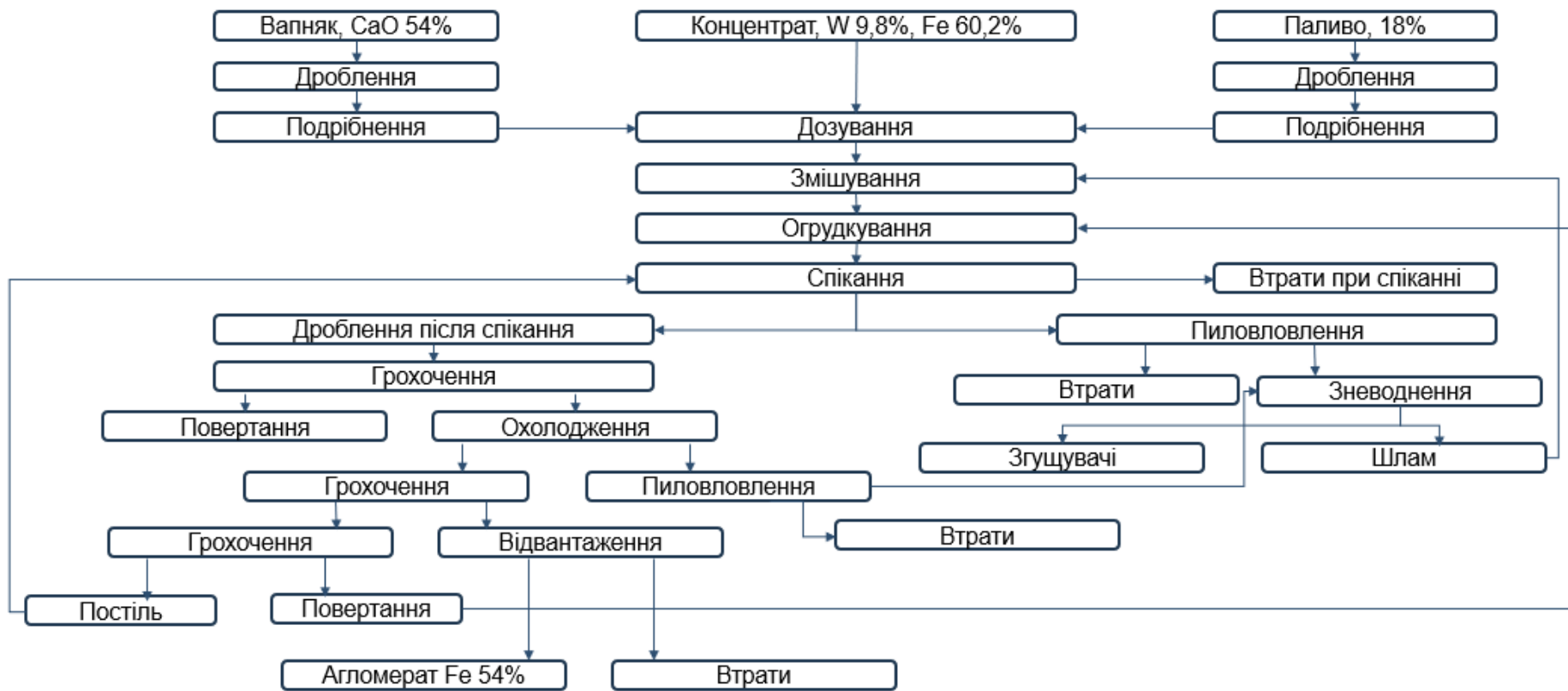



Рисунок 1.5 – Етапи отримання агломерату



Для виготовлення окатишів використовують залізорудний концентрат, доломітизований вапняк, бентонітову глину, активований торф і газоподібне паливо.

Сирі окатиші утворюються під час окочування зволоженого тонкодисперсного концентрату. Такий матеріал належить до гідрофільних дисперсних систем, які активно взаємодіють із водою. Прагнення системи до мінімізації енергії проявляється у зниженні поверхневого натягу між фазами та зчепленні дрібних частинок, що сприяє утворенню гранул.

Важливим чинником огрудкування є вологість шихти, яку визначають експериментально. Сирі окатиші повинні мати достатню міцність, щоб не руйнуватися при транспортуванні до печі, а також термостійкість, що запобігає розтріскуванню під час випалу. Для поліпшення цих властивостей у шихту додають сполучні матеріали — переважно бентоніт, а також вапно, хлористий кальцій, залізний купорос або гумінові речовини.

Бентонітова глина — це дрібнодисперсний матеріал із високою іонообмінною здатністю, сильним набуханням при зволоженні та хорошою зв'язністю. Її вводять у кількості 0,5–1,5 % перед процесом обкатування.

Основні операції технологічного процесу виробництва окатишів:

- подача концентрату із збагачувальної фабрики;
- згущення й усереднення концентрату;
- фільтрація;
- подрібнення вапняку;
- зберігання у бункерах;
- дозування компонентів шихти;
- змішування компонентів;
- огрудкування (формування сирих окатишів);
- грохочення сирих гранул;
- сушіння та попередній нагрів;
- випалювання окатишів;
- сортування та охолодження готових окатишів.

На сучасних фабриках сирі окатиші отримують в огрудковувачах барабанного (рис. 1.6) або тарілчастого типу (рис. 1.7).

Барабанний огрудковувач — це нахилений під кутом 8–9° циліндр, що обертається зі швидкістю 7–11 об/хв. Під дією сили тяжіння та відцентрової сили зародки гранул притискаються до внутрішньої поверхні барабана, де

на них нашаровується концентрат дрібної фракції, формуючи рівномірні за розміром окатиші.

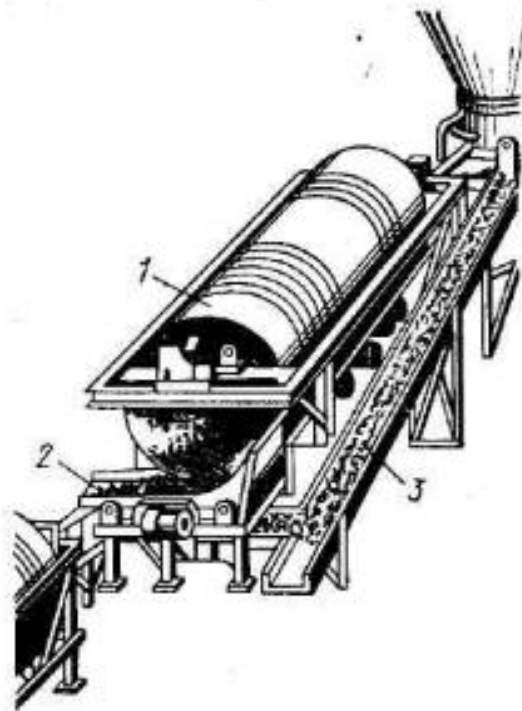


Рисунок 1.6 – Барабанний огрудковувач: 1 – барабан, 2 – грохоти для відсіву дріб'язку, 3 – циркуляційне навантаження

Барабанні огрудковувачі не забезпечують формування дрібних окатишів, тому за ними встановлюють механічний грохот, який відсіює гранули малого розміру (зазвичай менше 6–8 мм). Іноді грохот конструктивно об'єднують із барабаном у зоні його розвантаження. Відсіяна дрібна фракція, що становить циркуляційне навантаження (150–400 % від маси придатних окатишів), за допомогою спеціального транспортера повертається у завантажувальну частину барабана.

Використання циркуляційного навантаження має важливе технологічне значення, оскільки дрібні гранули виступають зародками для нарощування нових окатишів, що забезпечує стабільну й рівномірну роботу агрегату. Саме завдяки цьому барабанні огрудковувачі відзначаються високою надійністю та продуктивністю.

Тарілчасті (чашові) огрудковувачі являють собою диск, встановлений під нахилом 45–60°, із боковим бортиком. Під час роботи обертової чаші

шихта піднімається по похилій поверхні, частково прилипаючи до борту, а потім скочується вниз, утворюючи зародки гранул. На ці зародки налипає тонкий шар концентрату, що поступово формує кулясті окатиші.

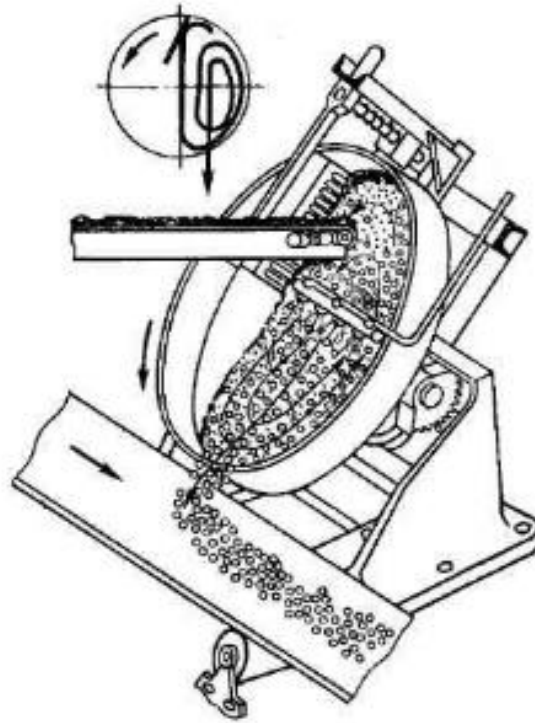


Рисунок 1.7 – Чашовий/тарілчастий огрудковувач

Частинки більшого розміру, маючи більшу масу, піднімаються вище по борту, тому висота борту визначає кінцевий розмір сирих окатишів. Сучасні тарілчасті гранулятори мають діаметр 5–7 м і питому продуктивність до 90 т/год, залежно від властивостей шихти.

Хоча тарілчасті установки поступаються барабанним за продуктивністю та стабільністю роботи, вони забезпечують більш однорідний гранулометричний склад продукції та дозволяють легко регулювати режим роботи. Для них, як і для барабанних огрудковувачів, важливими є правильне підтримання шару гарнісажу, оптимальний кут нахилу та швидкість обертання, а також вологість шихти.

Чим ретельніше проводиться підготовка руди до доменного процесу, тим вища продуктивність печі, менша витрата палива і краща якість отриманого чавуну.



## 1.6 Сировинні матеріали доменної плавки

Як підгалузь металургії, доменне виробництво України в основному орієнтоване на внутрішні сировинні і паливно - енергетичні ресурси.

Залізні руди – основна сировина для доменного виробництва. До них відносяться магнітний, червоний та бурий залізняк, а також сидерити й гетити. Без неї неможливе виробництво чавуну та сталі, заліза прямого відновлення та, у подальшому, сталевого прокату. Але у своєму первинному вигляді одразу після видобутку з кар'єрів та шахт при виготовленні металопродукції може використовуватися тільки високоякісна залізна руда - для цього вона повинна мати потрібний розмір часток, високий вміст заліза (Fe) та дуже невелику кількість шкідливих домішок. В природі такі корисні копалини зустрічаються дуже нечасто. Більше 90% рудного матеріалу, що видобувається у світі, проходить процес підготовки та збагачування на спеціалізованих гірничо-збагачувальних комбінатах. Шляхом збагачення та підготовки з них отримують залізорудну сировину: окатиші; агломерат; концентрат [2].

Паливо для доменної печі виконує не лише функцію джерела тепла, а й служить реагентом, необхідним для відновлення заліза з руди та отримання чавуну. Основні вимоги до палива включають високу теплотворну здатність, низький вміст золи та вологи, відсутність шкідливих домішок, високу механічну міцність і достатню пористість для інтенсивного горіння. Паливо також має бути доступним та економічно вигідним. Основними видами палива є кам'яновугільний кокс і природний газ. Крім того, у процесі потрібні флюси, вода, повітря, вогнетривкі та формувальні матеріали, а особливе значення мають руди.

Кокс – це високоякісне бездимне паливо, що застосовується для виплавки чавуну в доменних печах. Він використовується не лише для розплавлення шихти, а й як відновник заліза. Кам'яновугільний кокс характеризується високою калорійністю, міцністю при нагріванні, пористою структурою та високою реакційною здатністю. Його виготовляють із спеціального коксівного вугілля, яке містить 18–26 % летких речовин. Кокс, що входить до складу шихти, одночасно виступає паливом і ключовим реагентом для відновлення заліза з руди.

Після видобутку та переробки у концентрат коксівне вугілля направляють на коксохімічні заводи для виробництва коксу (рис. 1.8).

Перший етап – підготовка вугілля, включно з його дробленням до дрібного помелу та сортуванням за якістю. Це дозволяє отримати однорідний і міцний кокс, оскільки наявність домішок погіршує його якість і спричиняє тріщини, що ускладнюють хімічні реакції при виплавці чавуну.

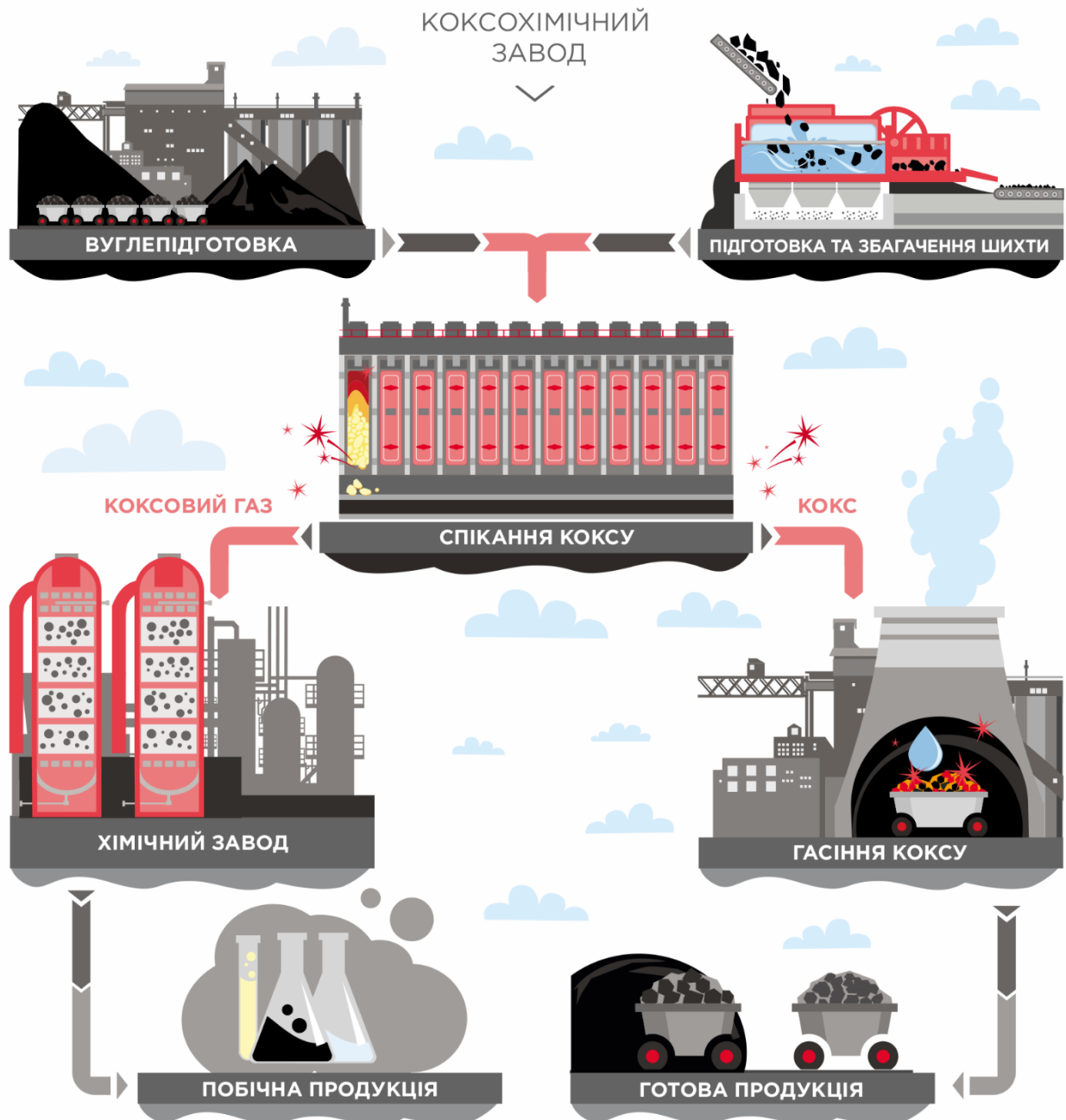


Рисунок 1.8 – Коксохімічного виробництва [1]



Кокс виробляють у спеціальних коксових печах, об'єднаних у батареї, що налічують 45–70 печей. Піч – це горизонтальна прямокутна камера з боковим обігрівом, в яку вугілля завантажують зверху. Процес відбувається без доступу повітря при температурі понад 1000 °С. Зазвичай кокс виготовляють не з одного виду вугілля, а з суміші (шихти). Коксування відбувається від зовнішніх країв до центру і триває 14–16 годин, поділяючись на стадії залежно від температури нагрівання:

1. Стадія сушіння – нагрівання до 200 °С, випаровування вологи.
2. Стадія розм'якшення – нагрівання до 350 °С, утворення бітумної плівки на зернах.
3. Стадія пластичності – при 500–600 °С формується напівкокс.
4. Стадія закріплення структури – при 1050 °С завершується утворення твердого коксу.

На кожній стадії відбуваються складні хімічні процеси, під час яких утворюється цінний побічний продукт – коксовий газ, що після очищення дає смолу, аміак, бензол, феноли та інші хімічні речовини, які використовують для добрив, лакофарбової продукції, будівництва та інших галузей.

Готовий кокс стає розсипчастим, його вивантажують через двері машини та коксовиштовхувача у спеціальні вагони. Щоб уникнути самозаймання, кокс гасять: мокрим способом (зрошення водою) або сухим (обдування циркуляційним газом). Після цього кокс просіюють і сортують за розміром: великий – для доменних печей, середній – як паливо у феросплавній промисловості, дрібний – для виробництва агломерату. Таким чином, кокс готовий до використання у виплавці чавуну.

Природний газ, який майже повністю складається з метану, є одним із найважливіших видів вуглеводневого палива. Його температура самозаймання становить близько 650 °С, а температура горіння в кисні досягає 2100–2020 °С. Природний газ є вискоелективним паливом: вдування 60–100 м<sup>3</sup> газу на 1 т чавуну дозволяє зменшити витрати коксу на 10–15 %, підвищити відновлювальну здатність доменних газів і збільшити продуктивність доменної печі.

У сучасних технологіях частину коксу замінюють альтернативними видами палива, такими як мазут, коксовий та доменний газ, а також пиловугільне паливо.




Мазут – це важкий нафтовий продукт, отриманий при перегонці нафти. Завдяки високій калорійності він ефективний як паливо для різних теплових процесів і використовується як сировина для виробництва матеріалів. Водночас мазут містить сірку та важкі метали, що призводить до утворення шкідливих викидів під час спалювання. Через це сучасні технології передбачають очищення мазуту та застосування методів зменшення екологічного впливу.

Коксовий газ утворюється при коксуванні кам'яного вугілля – нагріванні без доступу повітря до 900–1100 °С. Він містить водень, метан, оксиди вуглецю, пари кам'яновугільної смоли, бензол, аміак, сірководень та інші компоненти. Після охолодження до 25–30 °С відбувається конденсація і виділення смоли та аміачної води. Коксовий газ використовують як паливо в промислових печах та газових двигунах, а також як сировину для хімічної промисловості. Оскільки газ токсичний і вибухонебезпечний (концентрація у повітрі 6–30 %), прямий газ з печей перед використанням очищають.

Доменний газ утворюється при виплавці чавуну в доменних печах як продукт неповного згоряння вуглецю. Це горючий вторинний енергоресурс, токсичний та вибухонебезпечний, тому його не випускають в атмосферу. Після багатоступеневої очистки доменний газ застосовують як паливо, зазвичай у суміші з висококалорійними газами (природним або коксовим), для підігріву повітрянагрівачів, сталевих зливків, коксових батарей та опалення котлів.

Пиловугільне паливо – це вугілля, подрібнене до порошку (зазвичай менше 100 мкм), що використовується як самостійне паливо або добавка в парових котлах, металургійних печах та інших теплових агрегатах. Для його виробництва застосовують будь-яке тверде паливо (буре або кам'яне вугілля, торф, відходи коксових батарей), яке сушать у барабанних сушарках гарячими газами 300–350 °С і подрібнюють за допомогою дробилок та спеціальних млинів. Тонкість помелу визначається вмістом летких речовин і зольністю вугілля.

Основна сировина для виробництва чавуну в доменній печі є залізна руда – це гірські породи, що містять залізо в достатній кількості для економічно доцільної переробки, зазвичай 30–60 %. Руда складається з мінералів, які містять метал у вигляді окислів, сульфідів, карбонатів, та



пустої породи, що включає кремнезем ( $\text{SiO}_2$ ), глинозем ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) і домішки сірки, фосфору, миш'яку тощо.

Основні вимоги до руд:

- високий вміст заліза (30–70 %);
- добра відновлюваність;
- склад та властивості шлаку, що забезпечують легкість його видалення;
- задовільна кускуватість;
- низька вартість.

Основні види залізних руд:

- Магнітний залізняк (магнетит,  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) – містить 72,4 % Fe у чистому вигляді, у руді 55–60 % Fe.
- Червоний залізняк (гематит,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) – безводний окис заліза, 70 % Fe, руда містить 58–60 % Fe; найпоширеніший вид руди у світі.
- Бурий залізняк – водні окиси заліза ( $2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ ), Fe 30–50 %.
- Шпатовий залізняк (сидерит,  $\text{FeCO}_3$ ) – карбонат заліза, 30–45 % Fe у руді.

Залізисті кварцити (магнетит та гематит) містять 35–40 % Fe з кремнистою порожньою породою.

Крім основних руд, використовують комплексні руди:

- Хроміти – містять 37,5 % окису хрому;
- Хромонікелеві руди – 1,5 % хрому та 0,5 % нікелю;
- Титаномагнетити – до 13 % двоокису титану та 0,4 % ванадію.


Марганцеві руди застосовують для введення марганцю в чавун і містять 25–50 % Mn у вигляді окислів ( $\text{MnO}_2$ ,  $\text{Mn}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Mn}_3\text{O}_4$ ).

У рудах присутні й інші домішки, які можуть бути як корисними, так і шкідливими. До небажаних домішок належать:

- Сірка – викликає червоноламкість сталі;
- Цинк – сублимується та ушкоджує металевий кожух печі;
- Миш'як – погіршує зварюваність і надає сталі холодноламкість;
- Фосфор – робить сталь холодноламкою, потребує видалення;
- Мідь – у деяких випадках шкідлива.

Корисні домішки: нікель, хром, ванадій, титан – покращують властивості чавуну.

Ретельна підготовка руди до доменної плавки підвищує продуктивність печі, знижує витрати палива і покращує якість чавуну.



Класифікація руд за вмістом заліза:

- Багаті руди – Fe > 60 %;
- Бідні руди – Fe < 25 %, які потребують збагачення:
  - легкозбагачувані;
  - важкозбагачувані.

За способом підготовки та застосування виділяють:

- Мартенівські руди;
- Доменні руди.

Більшість залізних руд використовують для виплавки чавуну. Понад 90 % видобутої руди у світі проходить процес підготовки та збагачення на гірничо-збагачувальних комбінатах.

Флюси використовують для оплавлення важкоплавкої порожньої породи руд та золи палива з утворенням низькоплавкого шлаку спеціального складу, який легко витікає з доменної печі, а також для часткового видалення сірки в шлак.

Металургійний флюс може бути основним, кислим і глиноземистим. Тип флюсу вибирається виходячи із складу порожньої породи, яку вносять в піч. Порожня порода - це, по суті, та ж залізна руда. У широкому сенсі порожньою називають ту породу, яка не привносить до виробничого процесу істотних змін і використовується тільки як основа.

Оскільки найчастіше порожня порода руди має кислотний характер, у якості флюсів використовують основні матеріали – вапняк  $\text{CaCO}_3$ , доломіт  $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$ . Якщо склад породи має основний характер, використовують кварц, піщаник та ін.

Флюси не повинні містити значну кількість сірки та фосфору, не більше 2-4 % кремнезему та глинозему, які збільшують витрати флюсів та кількість утвореного шлаку; вміст кальцію – не менше 50-52 %. Флюси перед плавкою підлягають подрібненню на шматки розміром 30-80 мм.

На різних етапах металургійного виробництва виходять побічні матеріали, які містять залізо, марганець, оксиди, які флюсують і можуть бути використані в якості заміників руд і флюсів. До них відносяться:

- колошниковий пил, який виноситься з доменних печей. Склад колошникового пилу визначається складом завантажуваної в піч шихти і характеризується вмістом 45-50 % заліза і 5-10 % вуглецю. Колошниковий пил утилізується введенням у склад агломераційної шихти;

- шлами (твердий осадок, який виділяється при відстоюванні вод, що поступають від мокрих газоочисток агломашин, доменних і сталеплавильних печей) за своїм складом близькі до складу колошникового пилу;
- зварювальний шлак (відходи прокатного виробництва, які утворюються в нагрівальних печах при нагріві металу перед його обробкою тиском), містить до 50 % заліза ;
- окалина — оксиди заліза, що утворюються на поверхні сталевого злитка при його нагріві перед плющенням. Складається майже повністю з  $Fe_3O_4$ ;
- конвертерний шлак містить близько 70 % оксидів заліза і кальцію. Характеризується високою основністю — 3,0-3,5.

### **1.7 Підготовка сировини до доменної плавки**


Залежно від властивостей добутої руди застосовують кілька основних методів підготовки:

- дроблення;
- сортування та класифікація;
- збагачення;
- усереднення;
- окусковування.

Дроблення. Руда, яка надходить із шахт або кар'єрів, має дуже різну крупність: при відкритому видобутку шматки досягають 1000–1200 мм, при підземному – 300–800 мм. Для подальшого використання її необхідно дробити, тобто зменшувати розмір шматків під дією зовнішніх сил до певної крупності. Це енергоємний і дорогий процес: на збагачувальних фабриках витрати на дроблення та здрібнювання становлять 35–70 % від загальної вартості циклу збагачення, а вартість дробильного обладнання може складати до 60 % вартості фабрики. Тому застосовують принцип «не дробити зайвого», тобто обробляти руду лише до необхідного розміру.

Стадії дроблення:

- Велике дроблення: з 1200 мм до 100–350 мм;
- Середнє дроблення: 100–350 мм до 40–60 мм;
- Дрібне дроблення: 40–60 мм до 6–25 мм;
- Тонке здрібнювання: менше 1 мм.



Велике, середнє та дрібне дроблення виконують у дробарках, а здрібнювання – у млинах.

Просіювання та класифікація. Матеріали поділяють на класи крупності:

- Просіювання – поділ до 1–3 мм за допомогою сит (грохотів);
- Гідравлічна та повітряна класифікація – поділ дрібних часток за швидкістю осідання у воді або повітрі.

Збагачення. Багато руд, що видобуваються, не відповідають вимогам доменного виробництва щодо вмісту заліза або шкідливих домішок, тому потребують збагачення. Це процес відокремлення корисного мінералу від пустої породи або одного корисного мінералу від іншого для отримання концентрату та хвостів. Методи збагачення базуються на фізичних та фізико-хімічних властивостях мінералів:

- Промивання – для розмивних мінералів;
- Гравітаційне збагачення – при різній густині;
- Магнітне збагачення – для магнітних мінералів;
- Флотація – на основі поверхневих властивостей.

Усереднення. Хімічний та гранулометричний склад руди нестійкий, що впливає на роботу доменної печі. Усереднення руди забезпечує сталість вмісту заліза і оптимальний гранулометричний склад шихти. Це роблять на складах: руду укладають шарами горизонтально, а відбирають через торець, захоплюючи кілька шарів одночасно.

Підготовка вугілля та флюсів. Для отримання якісного коксу кам'яне вугілля також проходить дроблення, сортування та збагачення. Аналогічні операції застосовують і до флюсів у підготовчих цехах металургійного заводу.

## **1.8 Доменна піч**

Доменне виробництво (рис. 1.9) одна з ключових ключовою ланкою в циклі чорної металургії. Його основне завдання – виплавка чавуну з залізної руди. Для цього використовують доменні печі, які працюють за принципом відновлення оксидів заліза при високих температурах із застосуванням палива (коксу) та флюсів (вапняку, доломіту).

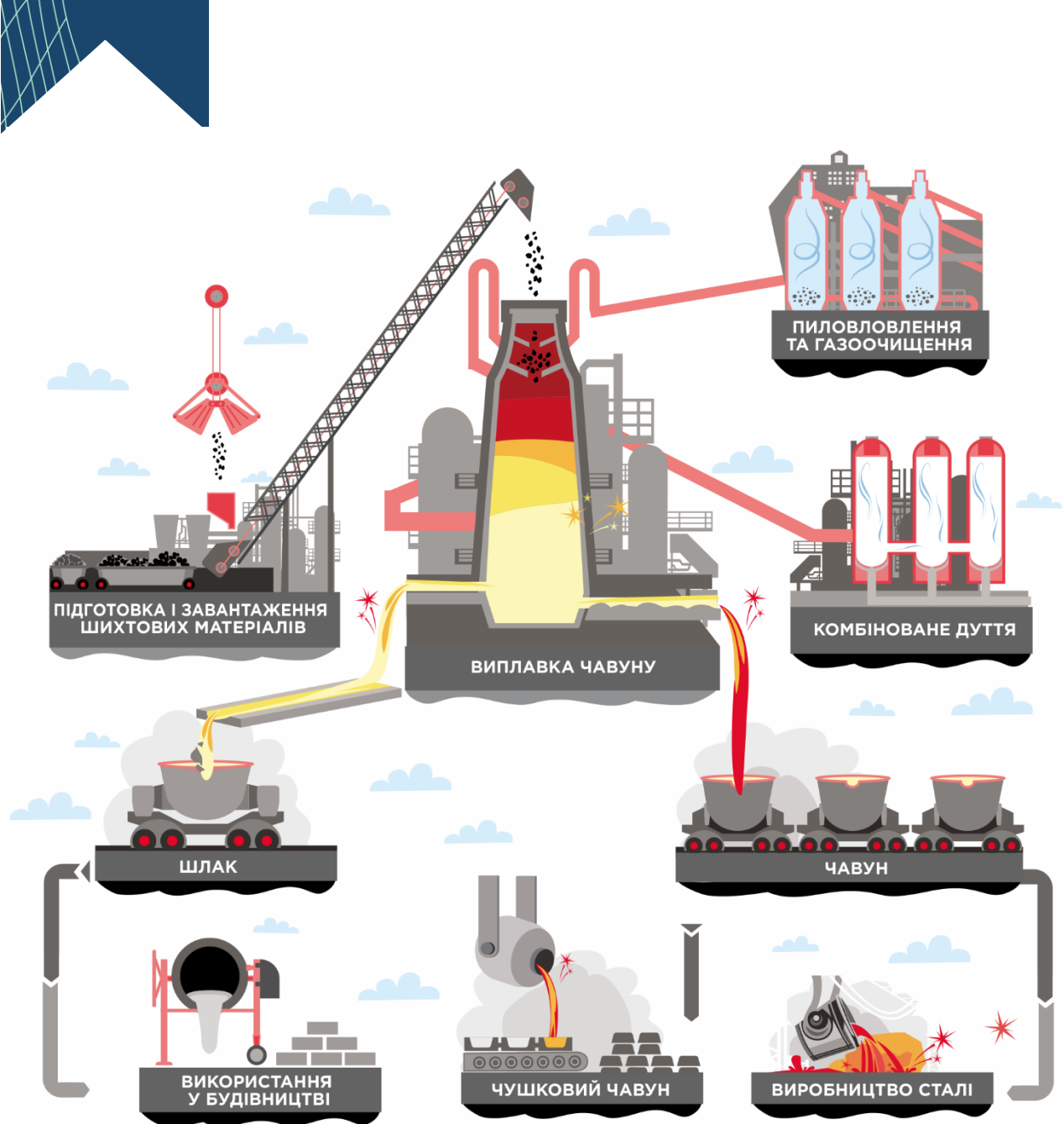


Рисунок 1.9 – Схема доменного виробництва [1]

Доменна піч є ключовим агрегатом для виробництва чавуну (рис. 1.10). Сировиною для доменної плавки служать залізни руди, паливо та флюси. Основний хімічний процес у печі – відновлення оксидів заліза, тобто видалення кисню з руди або зменшення ступеня його окиснення. Це можливо лише за високої температури та за участі відновника з високою спорідненістю до кисню – чадного газу (CO), який утворюється під час горіння коксу і розкладу флюсу (вапняку).

Щоб кокс запалився, у піч подають знизу через фурми гаряче (600–800 °С) повітря, збагачене киснем. Нагріті гази піднімаються вгору, а шихта поступово опускається вниз. Чадний газ проходить крізь шар шихти, відновлюючи залізо в руді.

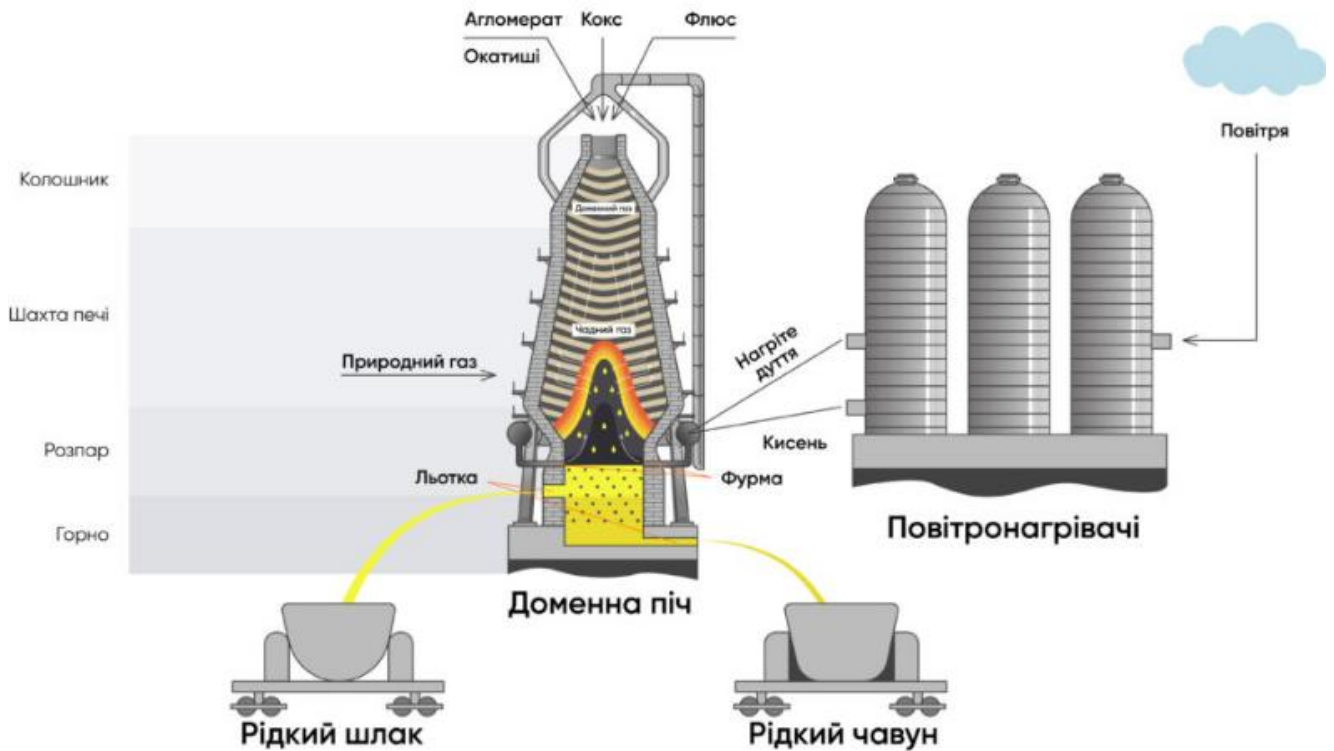



Рисунок 1.10 – Структурна хема доменної печі [3]

Відновлене залізо опускається у гарячу нижню частину печі (розпар), де взаємодіє з вуглецем і чадним газом. Залізо розчиняє до 4 % вуглецю та інші домішки, утворюючи чавун – сплав заліза з вуглецем.

Одночасно з чавуном утворюється шлаки. Під дією високої температури вапняк, введений у шихту як флюс, розкладається, формуючи легкоплавкі речовини. Оскільки шлак легший за чавун, він накопичується над розплавленим металом і захищає його від окиснення.

Рідкі продукти плавки видаляють через спеціальні отвори – льотки. Перший шлак з’являється приблизно через 15 годин після запуску печі, а перший чавун – через 20–24 години. Через кілька діб піч виходить на номінальну продуктивність.

Отриманий чавун зливають у чавуновозні ковші і транспортують:

- 
- у сталеплавильний цех (мартенівський, киснево-конверторний, електросталеплавильний) для переробки на сталь;
  - або до розливних машин для отримання чушкового чавуну, який можна зберігати у твердому стані та використовувати у ливарному виробництві.

Основні частини печі: колошник, шахта, розпар, заплечики, горно, під печі та фундамент [4].

Колошник – верхня циліндрична частина печі, через яку здійснюється завантаження шихти та її рівномірний розподіл. Колошник відчуває сильні ударні й абразивні навантаження від сипучих залізорудних матеріалів, коксу та флюсу. Конструктивно він багат шаровий і включає завантажувальний пристрій, систему газовідводів з клапанами, мініциклони та трубопровідну систему для вирівнювання тиску.

Шахта – найбільший за об’ємом і менш стійкий елемент печі, має форму усіченого конуса. Тут відбуваються основні фізико-хімічні процеси взаємодії шихти з газами. Значна висота шахти забезпечує тривале перебування матеріалів у печі та максимальне непряме відновлення оксидів заліза. Шахта розширюється зверху вниз, щоб підтримувати високу газопроникність стовпа шихти.


Розпар – циліндрична частина з найбільшим діаметром, що забезпечує плавний перехід шахти до заплечиків. Він розташований на початку зони шлакоутворення. Завдяки широкому перерізу зменшується швидкість газів, що запобігає підвисанню шихти в момент переходу матеріалів у тістоподібний стан і підвищення гідродинамічного опору.

Заплечики – частина печі у формі перевернутого усіченого конуса. Вони спрямовують газові потоки від зони горіння до «рудного гребеня» і уповільнюють рух шихтового стовпа вниз.

Горно – нижня циліндрична частина печі, що включає фурменну зону та металоприймач. У фурменній зоні розташовані отвори та прилади для подачі нагрітого повітряного дуття під тиском. Металоприймач збирає рідкий чавун і шлак і має отвори для їх випуску.

Під – дно металоприймача, що витримує великі гідростатичні та температурні навантаження. Воно виготовляється з вуглецевого та високоглиноземистого матеріалу та має спеціальну систему охолодження.

Фундамент – двошарова основа доменної печі, що забезпечує рівномірну передачу великого навантаження (до 12–15 т/м<sup>3</sup> об’єму печі) на



ґрунт, мінімізує осадку та термічне старіння. Нижній шар – масивна бетонна підшва з гравійним заповнювачем і сталевим армуванням, верхній – пень із вогнетривких матеріалів, розташований у циліндричному кожусі та вкритий шамотним «стаканом».

### 1.9 Перетворення матеріалів в доменній печі

Доменний процес протікає досить складно й вимагає дотримання технології та суворого контролю за рівнем численних фізичних параметрів. Але спробуємо спрощено розглянути, як доменна піч працює. Скіповим підіймачем шихтові матеріали (залізорудна сировина, кокс, флюси) піднімаються на висоту колошникового пристрою й засипаються до печі. При цьому засипка шихтових матеріалів здійснюється таким чином, щоб шари коксу чергувалися з залізовмісними матеріалами. Знизу, завдяки роботі фурмених пристроїв, йде нагнітання всередину домни потужного потоку гарячого повітря, який містить необхідний для реакції кисень. Піднімаючись вгору, він рухається в протипотоці з опускаючимися вниз шарами шихтового стовпу та інтенсивно пронизує їх за рахунок наявності міжкускових просторів, викликаючи горіння коксу й розкладання компонентів шихти. Уявімо доменний процес схематично [4].

Таблиця 1.2 - Опис процесів в доменній печі [4].

Процес	Хімічна реакція
Кисень, що вдувається за допомогою фурм, взаємодіє з вуглецем коксу	$O_2 + C = CO_2$
У зоні домни, розташованої трохи вище фурм, кисень вже витрачено і відбувається взаємодія двоокису вуглецю з вуглецем коксу. Така реакція призводить до підвищення температури вище 1000°C	$CO_2 + C = 2CO$
При нагріванні залізовмісних матеріалів відбувається низка відновлювальних процесів. В результаті на останній стадії відновлення утворюється губчасте залізо, а окис вуглецю переходить у двоокис вуглецю	$3Fe_2O_3 + CO = 2Fe_3O_4 + CO_2$ $Fe_3O_4 + CO = 3FeO + CO_2$ $FeO + CO = Fe + CO_2$

<p>Губчасте залізо науглецьовується та перетворюється в чавун. Під час насичення вуглецем температура плавлення заліза знижується і на рівні розпару і заплечиків домни виникають перші порції рідкого металу. Краплі залізовуглецевого сплаву, протікаючи по коксу, додатково насичуються вуглецем, марганцем, кремнієм, фосфором, що відновлюються з руди і флюсів, а також сіркою, що міститься у коксі</p>	$3\text{Fe} + 2\text{CO} = \text{Fe}_3\text{C} + \text{CO}_2$
<p>Порожня порода під впливом температур вище 1000°C розм'якшується та плавиться. При цьому, вона утворює шлак, взаємодіючи з кальцієм флюсу і невідновленими оксидами заліза і марганцю</p>	$\text{SiO}_2 + 2\text{CaO} = (\text{CaO})_2\text{SiO}_2$ $\text{SiO}_2 + 2\text{FeO} = (\text{FeO})_2\text{SiO}_2$ $\text{SiO}_2 + 2\text{MnO} = (\text{MnO})_2\text{SiO}_2$
<p>У домні відбувається відновлення фосфору, марганцю і кремнію. Розчиняючись, вони також реагують з залізом</p>	$\text{P}_2\text{O}_5 + 5\text{C} = 2\text{P} + 5\text{CO}$ $\text{SiO}_2 + 2\text{C} = \text{Si} + 2\text{CO}$ $\text{MnO}_2 - \text{Mn}_2\text{O}_3 - \text{Mn}_3\text{O} - \text{MnO}$

Науглецьовування заліза починається в шахті відразу за його відновленням з утворенням карбіду заліза (Fe<sub>3</sub>C). Окрім вуглецю, в залізі одночасно розчиняються відновлені марганець, кремній, фосфор, а також сірка з коксу, внаслідок чого і утворюється чавун. У міру розчинення домішок знижується температура плавлення утвореного сплаву; якщо для чистого заліза вона становить 1539 °С, то для чавуну – 1100- 1350 °С в залежності від кількості домішок. Утворений чавун збирають у горні печі.

Рідкий чавун, проходячи крізь шар шлаку, додатково звільняється від сірки і збирається у горні, звідки випускається через лютку у рівні часові інтервали. Шлак має більш низьку щільність і тому знаходиться зверху розплавленого чавуну й тим самим мінімізує його окислення. Шлаки також відводяться через лютку з дотриманням певної часової послідовності.



## 1.10 Виробництво чавуну в доменних печах

Чавун – це високовуглецевий сплав заліза з вмістом вуглецю від 2,14 до 6,3 % (зазвичай 3–4,5 %). Він також містить домішки марганцю (до 3 %), кремнію (до 4,5 %), сірки (не більше 0,12 %) і фосфору (до 2,5 %). Чавун відрізняється хорошими ливарними властивостями та твердіє з утворенням евтектики.

Чавун є головним первинним продуктом чорної металургії. Його використовують як сировину для виробництва сталі, а також як компонент шихти у вторинній плавці. Вторинний чавун застосовується як конструкційний та ливарний матеріал. Завдяки високій міцності, зносостійкості та добрим ливарним властивостям, чавун широко використовується в машинобудуванні – близько 75 % маси заготовок у сучасному виробництві складають чавунні деталі. Крім чавуну, у доменній печі отримують феросплави, наприклад, доменний феромарганець (70–75 % Mn, до 2 % Si) для розкислення сталі.

Класифікація та властивості чавуну

Чавун із доменних печей поділяють на:

- переробний – для подальшого переділу в сталь або виготовлення виливків; може використовуватися в рідкому чи твердому стані. Для передільного чавуну суворо контролюють вміст кремнію, марганцю, сірки та фосфору;

- ливарний – компонент шихти у чавуноливарному виробництві.

До 1970-х років виплавляли дзеркальний чавун (10–25 % Mn) для розкислення сталі та виробництва спеціальних видів чавуну. При використанні залізних руд із Cr, Ni, Ti та іншими легуючими елементами отримують природнолеговані чавуни.

За використанням у виливках чавун класифікують:

- за ступенем графітизації: сірий, білий, половинчастий (вибілений);

- за формою включень графіту: пластівчастий, кулеподібний (високоміцний), вермікулярний, розетковий (ковкий);

- за характером металевої основи: перлітний, феритний, перлітно-феритний, аустенітний, бейнітний, мартенситний;

- за призначенням: конструкційний, з особливими властивостями;

- за хімічним складом: легований і нелегований.



Сірий чавун – найпоширеніший вид, містить графіт пластівчастої форми. Його властивості залежать від структури основи, форми та розподілу графіту. Він має високе співвідношення границі текучості до границі міцності на розтягання, що робить його затребуваним у машинобудуванні, сантехніці та будівництві.

Білий чавун містить надлишковий вуглець у зв'язаному вигляді як цементит ( $\text{Fe}_3\text{C}$ ) або спеціальні карбіди (у легованому чавуні). Через низькі механічні властивості та крихкість його використовують обмежено – для деталей простої форми з підвищеним абразивним зносом.

Половинчастий чавун містить частину вуглецю у вигляді графіту, частину – у зв'язаному стані. Використовується як фрикційний матеріал (гальмові колодки) та для деталей із підвищеною зносостійкістю (прокатні валки).

Ковкий чавун отримують шляхом графітизації білого чавуну. Внаслідок цього цементит розпадається, а графіт набуває пластівчастої форми. Ковкий чавун добре демпфує, менш чутливий до надрізів і задовільно працює при низьких температурах. Його застосовують у автомобільному, тракторному та сільгоспмашинобудуванні.


Високоміцний чавун містить кулеподібний графіт і виготовляється шляхом модифікування рідкого чавуну присадками Mg, Ce, Y, Ca та іншими. Має відмінну ливарність, рідинотекучість та оброблюваність різанням. Використовується для заміни сталевих ливарних та кованих деталей.

Вермікулярний чавун – високоміцний чавун із включеннями вермікулярного графіту. Він поєднує властивості чавуну з кулеподібним та пластівчастим графітом, має добру рідинотекучість, низьку усадку та високу теплопровідність. Використовується у двигунобудуванні та машинобудуванні.

Леговані чавуни створюють для покращення механічних та експлуатаційних характеристик, вводячи до складу Ni, Cr, Cu, Al, Ti, W, V, Mo та ін. елементи. Залежно від вмісту легуючих елементів виділяють:

- низьколеговані (до 2,5 %),
- середньолеговані (2,5–10 %),
- високолеговані (понад 10 %).

Спеціальні чавуни мають особливі властивості, досягаються легуванням та спеціальною термообробкою. До них належать жаростійкі,



корозійностійкі, антифрикційні, зносостійкі, художні, з особливими електромагнітними властивостями та феросплави.

При виробництві окремих сплавів додавання спеціальних присадок в чавун змінює його склад та властивості [5]:

- Кремній є найважливішим легуючим елементом в чавуні, який разом з вуглецем впливає на структуру й властивості. Кремній позитивно впливає на виділення графіту, покращує ливарні властивості сплаву.
- Сірка зменшує здатність рідкого чавуну заповнювати ливарні форми, знижує його механічні властивості та надає червоноламкість.
- Марганець негативно позначається на ливарних властивостях, протидіє графітизації, але збільшує твердість та міцність.
- Фосфор необхідний при виготовленні чавунних виливків складної форми, в тому числі тонкостінних, оскільки сприяє підвищенню рідкоплинності сплаву. Але при цьому втрачається міцність, зростає крихкість.

Отриманий чавун є первинним продуктом чорної металургії. Він використовується як сировина для сталеплавильного виробництва (переробка в сталь) або як компонент шихти у чавуноливарному виробництві. Ефективність доменної плавки значною мірою впливає на продуктивність наступних етапів металургійного циклу – сталеплавильного та ливарного виробництв.

Таким чином, доменне виробництво забезпечує перетворення природної залізної руди у рідкий чавун, який є базовим матеріалом для отримання сталі та чавунних виробів, і виступає фундаментом у всьому металургійному процесі.

### **Питання до самоконтролю:**

1. Що таке металургійний комплекс і які його основні складові?
2. Які підприємства входять до структури металургійного комплексу?
3. Які основні етапи розвитку металургійної промисловості України?
4. Які чинники зумовили спад у розвитку галузі після 2014 року?
5. Яке значення має металургійний комплекс для економіки України?



6. У чому полягає сутність чорної металургії та які її основні підгалузі?
7. Які види сировини використовують у чорній металургії?
8. Які основні райони чорної металургії сформувалися в Україні?
9. Які фактори впливають на розміщення металургійних підприємств?
10. Які основні проблеми та перспективи розвитку чорної металургії України?
11. Що таке агломераційне виробництво і яку роль воно виконує в металургійному циклі?
12. Які основні складові аглофабрики та їх функції?
13. Які матеріали входять до складу агломераційної шихти?
14. Що таке агломерат і які його властивості мають технологічне значення?
15. Які відходи металургійного виробництва використовуються в агломераційній шихті?
16. У чому полягає процес агломерації залізородної сировини?
17. Яка будова та принцип дії агломераційної машини?
18. Які етапи проходить шихта під час спікання?
19. Які технологічні параметри впливають на якість агломерату?
20. Яке призначення постелі в агломераційному процесі?
21. Чому виникла потреба у виробництві окатишів?
22. Які стадії включає технологічний процес отримання окатишів?
23. Які речовини використовуються як сполучні матеріали в шихті для окатишів?
24. У чому полягає принцип роботи барабанного огрудковувача?
25. Чим тарілчастий огрудковувач відрізняється від барабанного за конструкцією і продуктивністю?
26. Яке технологічне значення має циркуляційне навантаження в процесі огрудкування?
27. Які основні види сировини використовуються у доменному виробництві?
28. Які види палива застосовують у доменній печі та яку роль вони відіграють?
29. Які основні вимоги до залізної руди для доменної плавки?
30. Які існують основні види залізних руд і чим вони відрізняються?



31. Яке призначення флюсів у доменному процесі?
32. Які побічні продукти металургійного виробництва можуть бути використані як замітники руд і флюсів?
33. Які основні операції включає підготовка руди до доменної плавки?
34. У чому полягають процеси дроблення та здрібнювання руди?
35. Яке призначення просіювання та класифікації рудних матеріалів?
36. Які методи застосовують для збагачення залізних руд?
37. Яке значення має усереднення руди перед плавкою?
38. Як готують вугілля та флюси для металургійного виробництва?
39. Яке призначення доменної печі в металургійному виробництві?
40. Які основні частини доменної печі та їх функції?
41. Які процеси відбуваються у різних зонах доменної печі?
42. Як утворюються чавун і шлак у доменній печі?
43. Яке призначення гарячого дуття і як воно подається в піч?
44. Як відбувається завантаження шихти в доменну піч?
45. Які хімічні реакції відновлення заліза проходять у процесі доменної плавки?
46. У чому полягає взаємодія шихтових матеріалів із газами?
47. Яке значення має чергування шарів коксу та залізородних матеріалів?
48. Які основні продукти доменного процесу та шляхи їх подальшого використання?



## ТЕМА 2. СТАЛЕПЛАВИЛЬНЕ ВИРОБНИЦТВО

Сталеплавильне виробництво – це процес отримання сталі з сировини, передільного чавуну або сталевого металобрухту у спеціалізованих сталеплавильних агрегатах металургійних заводів. Воно становить другу ланку у загальному циклі чорної металургії.

На відміну від чавуну, сталь містить менше вуглецю, кремнію, марганцю, сірки та фосфору. Основними джерелами сировини для виробництва сталі є передільний чавун і сталевий брухт. Передільний чавун зазвичай має склад: 3,8–4,4 % С, 0,2–2,0 % Si, 0,6–3,5 % Mn, 0,07–1,6 % P та 0,03–0,08 % S.


Процес перетворення чавуну на сталь полягає у зменшенні вмісту вуглецю та інших елементів, які видаляються у шлак або у вигляді газів. Таким чином, сталь отримують шляхом окислення надлишку С, Si, Mn, S і P.

Сталь є ключовим конструкційним матеріалом для машинобудування, промислового будівництва, транспорту та інших галузей. Розвиток промисловості і сільського господарства був би неможливий без сучасних металевих матеріалів та машинної техніки.

### 2.1 Історія виплавки сталі

Людство почало добувати залізо ще в середньовіччі, проте аж до середини XIX століття це були невеликі обсяги низькоякісного металу. Його виробляли в сиродутних (гамарних) печах, а до придатного стану доводили в кузнях, виготовляючи штучні вироби. Залишки таких печей знайдено на території сучасної України, переважно на заході країни [6].

Середньовічні технології мали серйозний недолік: отримували або дуже м'яке залізо, або крихку сталь. Такі матеріали не могли використовуватися у чистому вигляді – вироби швидко тупилися або ламалися. Відомо, що пружність залізного сплаву виникає лише при формуванні правильної кристалічної структури з розплаву, для чого потрібна температура близько 1450 °С – досягти якої середньовічними методами було неможливо.



Промислова революція значно збільшила попит на міцні та довговічні конструкційні й збройові матеріали, здатні піддаватися механічній обробці. У XIX столітті з'явилися витoki сучасних способів виплавки сталі [6].

На сьогодні у світі застосовують три основні промислові методи сталеплавильного виробництва:


- мартенівський;
- киснево-конвертерний;
- електрометалургійний.

Мартенівське виробництво. До середини XX століття основним методом виплавки сталі залишалися мартенівські печі, вперше створені французом Емілем Мартеном у 1864 році. Головними перевагами цієї технології були можливість включення в шихту сталевого брухту, що був доступний завдяки активному розвитку залізниць, та широкий асортимент якісних марок сталі, які можна було отримати завдяки тривалій плавці – до 13 годин. На території сучасної України перші мартени встановив валлієць Джон Юз у 1879 році. У середині XX століття за різними оцінками, за рахунок цієї технології виплавлялося від 50 до 80 % усієї світової сталі.

Однак тривалість плавки, потреба постійного зовнішнього підігріву, зростання вартості природного газу та екологічні проблеми поступово зменшили популярність мартенівського процесу. Сьогодні більшість діючих мартенівських цехів використовують двохванні сталеплавильні агрегати, які поєднують елементи мартенівської та конвертерної технологій. Дві печі, з'єднані між собою, дозволяють підігрівати металевий розплав киснем із середини, а не лише зовні газом, що значно знижує витрати енергії та скорочує тривалість плавки до 3–4 годин.

Конвертерне виробництво. Попередником конвертерного методу була бессемерівська технологія, розроблена англійцем Генрі Бессемером у 1856 році. У його процесі рідкий чавун продували атмосферним повітрям для зниження вмісту вуглецю. Водночас у сталь потрапляв азот, що знижував температуру плавки і погіршував якість продукту. Через це метод не набув широкого поширення: він вимагав високоякісної сировини і обмежував можливість використання металобрухту. Бессемерівські печі працювали на території сучасної України до 1983 року.

У 1878 році англієць Сідні Гілкріст Томас удосконалив метод Бессемера, що дозволяло видаляти із розплаву фосфор і інші шкідливі



домішки. Ця технологія успішно застосовувалася у країнах з високофосфористими залізними рудами, таких як Бельгія та Люксембург.


До початку 1930-х років якість сталі у бессемерівських та томасівських печах все ще поступалася мартенівській. Починаючи з цього часу почали експериментувати з кисневим дуттям: замість повітря в рідку сталь подавали чистий кисень із криогенних установок. Одними з перших дослідів займався Микола Мозговий на київському заводі «Більшовик», паралельно випробування проводили в Німеччині та Австрії. Прогрес сповільнила Друга світова війна, але після її завершення розвиток криогенних технологій сприяв широкому впровадженню кисневих конвертерів. Перші промислові цехи запрацювали у 1952 році, а конвертерна технологія виявилася більш продуктивною та економічною, поступово замінюючи мартенівське виробництво. Нові цехи будувалися сучаснішими, хоча деякі застарілі бессемерівські агрегати також переводили на цю технологію.

Електрометалургійне виробництво. Ще в ХІХ столітті було відомо, що метали можна відновлювати з оксидів та розплавляти за допомогою постійного електричного струму й електричної дуги. Проте відсутність потужних джерел електроенергії довгий час стримувала промислове застосування цієї технології для виплавки сталі.

Лише в 1930-х роках поява потужних електростанцій відкрила можливість промислового розвитку електрометалургії. Спершу її використовували для кольорових металів, а пізніше технологія перекочувала в чорну металургію. Одним із прикладів є місто Запоріжжя: після запуску перших турбін ДніпроГЕС у 1932 році тут з'явилися підприємства електрометалургії, які виробляли алюміній, титан, феросплави та спеціальні сталі.

Сьогодні дугові сталеплавильні печі (ДСП) застосовуються як для спеціальних, так і для рядових марок сталі. В печі, заповнені шихтою, занурюють три великих графітових електроди, на які подають змінний або постійний струм. Електрична дуга створює високу температуру, яка плавить металобрухт. На базі ДСП часто створюють mini-mills — невеликі металургійні підприємства з річною продуктивністю 0,5–2 млн тонн сталі. Такі заводи поширені в країнах із доступною електроенергією та великими обсягами металобрухту.

Подібно до кисневих конвертерів, в електрометалургії плавка займає лише 40–60 хвилин. На ранніх етапах короткий час плавки ускладнював



контроль за марками сталі, оскільки в мартенівських печах протягом кількох годин поступово вводили флюси, розкислювачі та легуючі елементи, а лабораторії встигали аналізувати продукт. Сучасна позапічна обробка майже усунула цю перевагу мартенів.

Попит на сталь визначався її ціною та властивостями. Незважаючи на високу продуктивність бесемерівських і томасівських конвертерів та низькі виробничі витрати, якість конвертерної сталі була нижчою за мартенівську. У 1900 р. частка мартенівської сталі становила близько 40 %, тоді як конвертерної — менше. У 1960 р. мартени виробляли 82 % сталі, електропечі — 10 %, бесемерівські та томасівські конвертери разом — близько 4 %, кисневі конвертери — 3,5 % [7].

Після 1954 р. киснево-конвертерний метод швидко поширився. До 1970 р. його частка перевищила 40 %, у 1980 р. — 52 %, у 1990 р. — 56,6 %, у 2001 р. — 59,1 %. Він повністю витіснив виробництво сталі в бесемерівських і томасівських печах та значно скоротив частку мартенівських цехів, яка у 2001 р. становила лише 4,3 %.

Електропечі розвивалися повільно: у 1925 р. вони давали близько 1 % світової сталі, у 1950 р. — 6,5 %. Проте потреба у високоякісній сталі стимулювала розвиток електрометалургії. До 1970 р. їх частка становила 14 %, у 1990 р. — 27,6 %, у 2001 р. — 33,6 %. На сьогодні електрометалургійне виробництво займає друге місце після киснево-конвертерного способу і демонструє тенденцію до зростання.

## **2.2 Конвертерне виробництво**

Конвертерне виробництво — одержання сталі продуванням рідкого чавуну повітрям або технічно чистим киснем у конверторах (рис. 2.1). У процесі конвертерного виробництва чавун перетворюється на сталь внаслідок окиснення домішок (вуглецю, кремнію, марганцю та інших) і наступного їх видалення з розплавленого металу. Конвертерне виробництво не потребує палива, бо окиснення домішок відбувається з виділенням тепла [8].

Існує два види конверторного процесу: кислий - бесемерівський і основний – томасівський та киснево-конверторний.

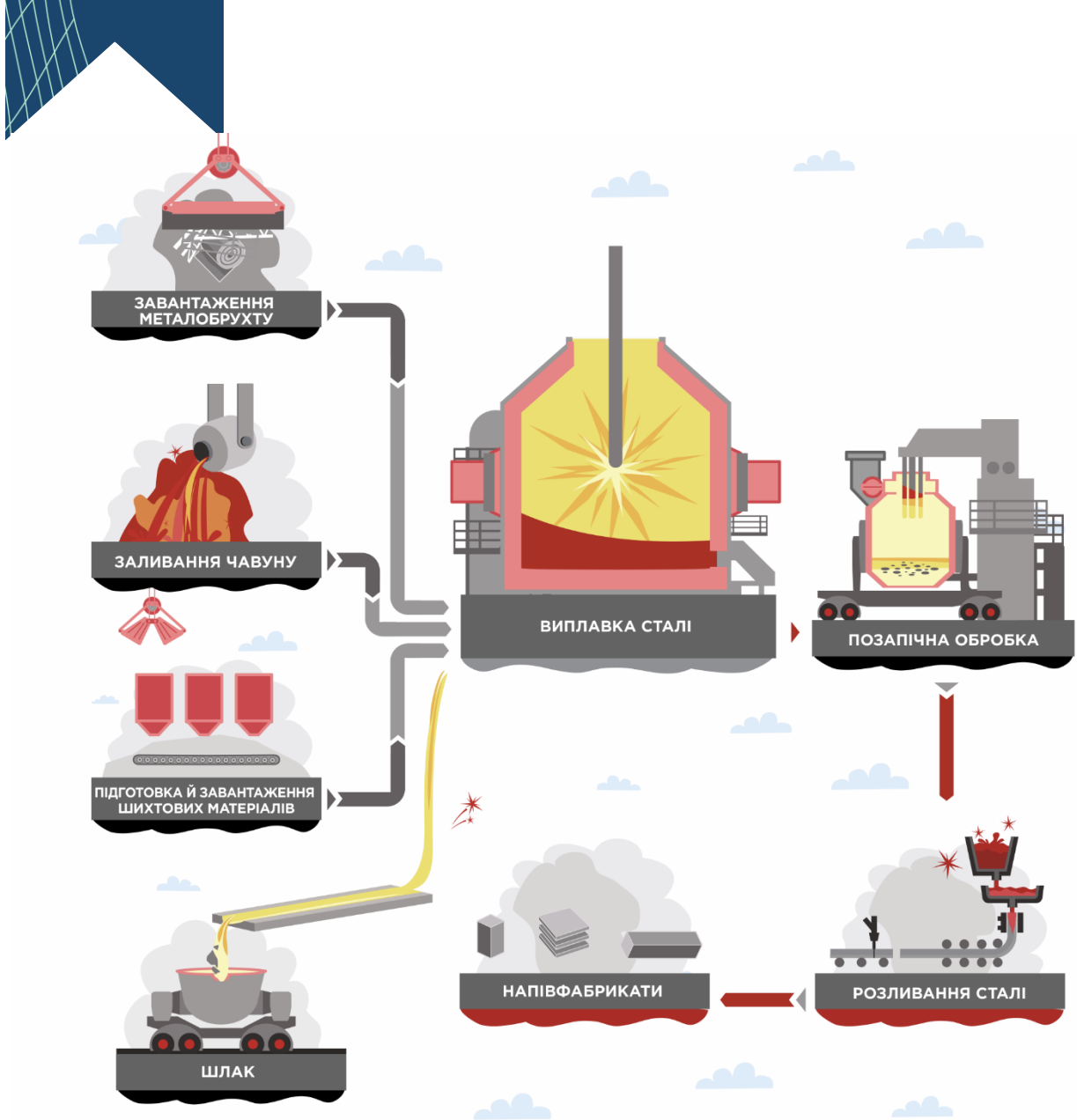


Рисунок 2.1 – Схема конверторного виробництва [1]

Першим конверторним процесом був бесемерівський процес, потім був розроблений томасівський процес (рис. 2.2). У ХХ столітті впроваджено киснево-конверторний процес, що став найпоширенішим конверторним процесом. Використання технічно чистого кисню з невеликим вмістом азоту ( $\leq 0,5\%$ ) дає змогу одержувати сталь високої якості, переробляти у конверторах значну кількість металевого брухту.

Бесемерівський процес — технологія переробки чавунів, які містять мало фосфору і сірки й багаті на кремній (не менше 2 %), на сталь.

Томасівський процес, або томасування чавуну — процес виробництва сталі з переробного чавуну з високим вмістом фосфору

(до 2,2 %) продуванням крізь рідкий чавун атмосферного повітря чи повітря, збагаченого киснем, або суміші кисню з вуглекислим газом чи водяною парою.

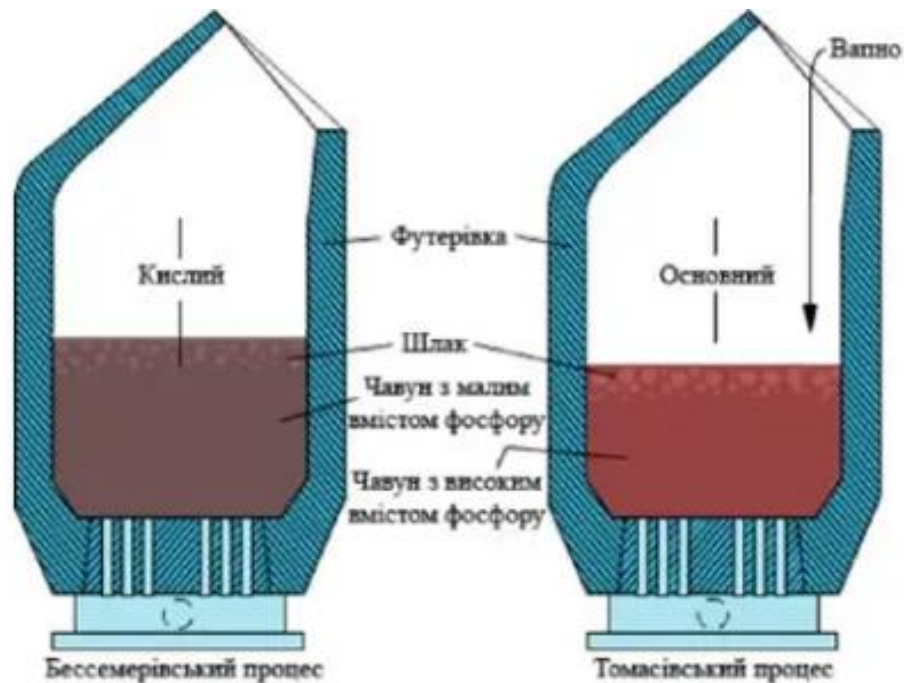



Рисунок 2.2 – Схеми Бессемерівського та Томасівського процесів

Бессемерівський процес виплавки сталі. Процес отримання сталі, відкритий англійським винахідником Генрі Бессемером у 1855 році, проводиться в конверторах із внутрішньою кладкою з кислої вогнетривкої цегли (динасу). Суть методу полягає в продуванні рідкого чавуну повітрям: кисень окислює домішки металу, а реакції виділяють достатньо тепла для перетворення чавуну на сталь протягом 10–13 хвилин. Вихідним матеріалом служить переробний чавун.

Процес у бессемерівському конверторі поділяють на три періоди:

1. Перший період – окислення основної маси заліза, кремнію, марганцю та вуглецю киснем повітря. Активне окислення відбувається завдяки  $\text{FeO}$ , що утворюється при горінні заліза. Цей етап супроводжується сильним виділенням іскор і називається «періодом іскор». Полум'я має малиново-червоний колір. Тривалість 2–3 хвилини; одночасно формується шлак.



2. Другий період – інтенсивне окислення вуглецю за реакцією:  
 $FeO + C \rightarrow Fe + CO$ .

Вуглець згоряє з поглинанням тепла, температура в конверторі трохи знижується. Утворений CO згоряє в CO<sub>2</sub>, полум'я стає сліпучо-білим. Цей період триває 7–8 хвилин і зазвичай завершують плавку, коли вміст вуглецю в сталі досягає 0,4–0,5 %.

3. Третій період застосовується для отримання сталі з дуже низьким вмістом вуглецю. Полум'я зменшується, з'являється бурий дим – ознака утворення FeO. Цей етап триває 1–2 хвилини, після чого продування припиняють.

Конвертор нахиляють у горизонтальне положення, припиняють подачу повітря, але сталь ще не готова, оскільки містить розчинений FeO. Кисень у сталі шкідливий: він робить її крихкою в гарячому стані (червонолапкою). Тому проводять розкислення за допомогою феросиліцію, феромарганцю або алюмінію.

Конвертори бувають місткістю 10–60 т, а продуктивність досягає 12–13 тис. тонн на добу.


Недоліки бессемерівської сталі:

- Погано піддається електрозварюванню.
- Має підвищену крихкість, особливо при низьких температурах.
- Схильна до старіння через виділення нітридів заліза, що підвищує міцність і знижує пластичність.

Причиною цих властивостей є підвищений вміст фосфору (до 0,06–0,07 %) та азоту (до 0,015–0,025 %).

Томасівський процес виплавки сталі. Томасівський метод, відкритий англійським металургом С. Томасом у 1878 році, дозволяє переплавляти чавуни з високим вмістом фосфору (до 1,5–2,5 %) і низьким вмістом кремнію (0,2–0,9 %). На відміну від бессемерівського, конвертор для томасівського процесу викладають основним вогнетривом – доломітом. Через великий об'єм шлаку конвертор трохи більший за бессемерівський, хоча обидва розраховані на однакову кількість чавуну. Фосфор у цьому процесі відіграє ключову роль, аналогічну ролі кремнію в бессемерівському процесі: при вигорянні він виділяє значну кількість тепла, необхідного для підвищення температури в конверторі. Перед заливанням чавуну вводять 12–20 % вапняку від його маси, а після заливання проводять продування.

Процес поділяється на три періоди:



1. Перший період – окислення кремнію, марганцю та заліза, аналогічне бессемерівському, але триває коротше через малий вміст кремнію.

2. Другий період – інтенсивне окислення вуглецю за реакцією:  
 $FeO + C \rightarrow Fe + CO$ .

3. Третій період – вигоряння фосфору, що відбувається частково за рахунок вільного кисню, але головним чином завдяки кисню FeO.

Виплавляють переважно низьковуглецеву сталь, оскільки фосфор починає вигоряти тільки після повного видалення вуглецю. За потреби сталь наприкінці плавки додатково напуглецьовують. Розкислення проводять так само, як у бессемерівському процесі, спершу зливаючи шлак.

Переваги томасівського способу:

- висока продуктивність;
- простота конструкції конвертора;
- відсутність потреби у зовнішньому паливі.

Недоліки:

- неможливість переплавлення металевих відходів;
- використання чавуну лише певного хімічного складу;
- значний вигар металу;
- труднощі з отриманням сталі заданого складу;
- велика кількість розчинених газів, що знижує густину сталі.

На сьогодні сталь томасівським способом в Україні не виплавляється.

### **2.3 Суть конверторного процесу**

Конверторний метод отримання сталі полягає в продуванні рідкого чавуну повітрям або киснем, що спричиняє окислення вуглецю та домішок. Конвертор – сталева грушоподібна посудина місткістю від 50 до 400 тонн із внутрішньою вогнетривкою кладкою товщиною 275–400 мм.

Конвертор (рис. 2.3) може обертатися навколо горизонтальної осі на  $360^\circ$  для завантаження інгредієнтів. Через горловину засипають металобрухт (не більше 30 %) і руду (до 8 %) та заливають гарячий чавун ( $1250\text{--}1400^\circ\text{C}$ ). Після повернення конвертора у вертикальне положення через водоохолоджувальну фурму подають кисень до досягнення заданого вмісту вуглецю в сталі.

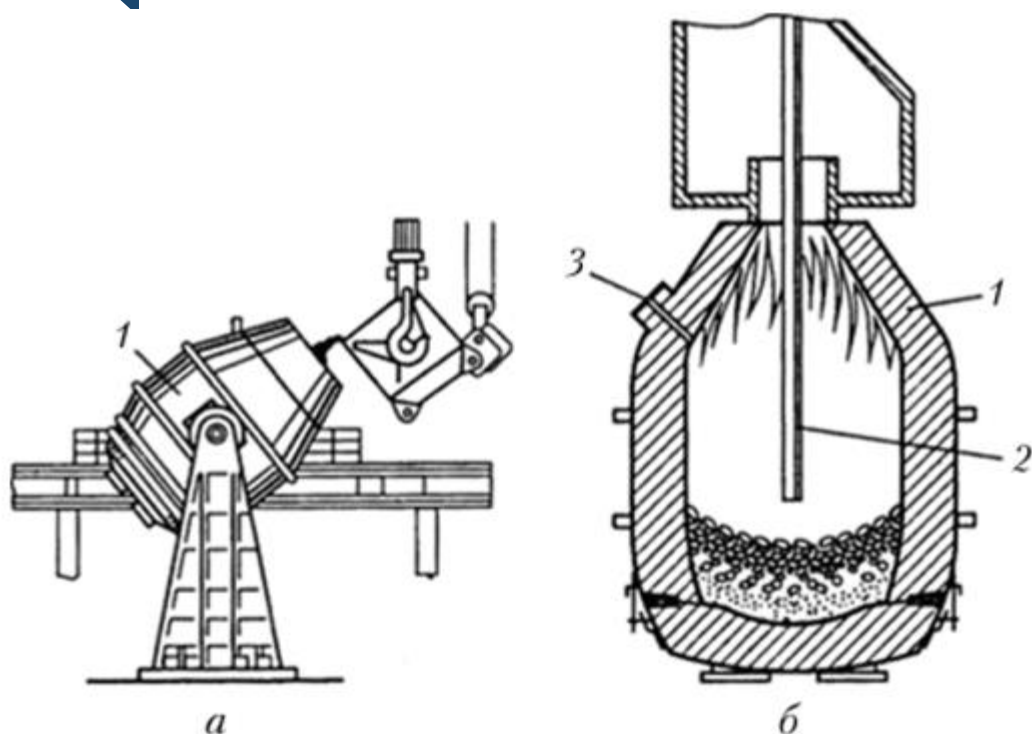



Рисунок 2.3 – Кисневий конвертер: а - заливка чавуну; б - продування киснем; 1 - корпус конвертера; 2 - водоохолоджувана фурма для подачі кисню; 3 - вихідний отвір для сталі [9]

Загальна тривалість плавки в конвертерах становить 30–60 хвилин. Після закінчення процесу конвертер нахилиють, і сталь випускають у ківш через лютку. Одночасно можуть вводитися розкислювачі та легиючі добавки, але зазвичай основне доведення сталі здійснюють на установках позапічної обробки, таких як «ківш-піч» (УКП) та вакууматори.

Чавун заливають у конвертер через горловину до рівня розташування фурм – труб, запресованих у днище конвертера, через які подається повітря. Після заповнення конвертера чавуном його поступово переводять у вертикальне положення, одночасно збільшуючи тиск повітря від 0,1 до 0,25 МПа.

Продування рідкого чавуну повітрям або киснем супроводжується виділенням тепла внаслідок хімічних реакцій, що підвищує температуру до 3000 °С без використання зовнішнього палива. Домішки кремнію та марганцю окиснюються, а потім згорає надлишковий вуглець. Інтенсивно окиснюється залізо, утворений оксид розчиняється у шлаку та металі, збагачуючи його киснем.



Плавлення триває 30–60 хвилин, після чого, коли вміст вуглецю досягає заданого рівня, продування припиняють. Конвертер нахиляють, випускаючи сталь у ківш, а потім нахиляють у протилежний бік і зливають шлак у спеціальну чашу шлаковоза.

У кисневих конвертерах зазвичай виробляють:

- вуглецеві сталі (вміст С 0,02–2 %),
- низьколеговані сталі,
- леговані сталі (з додаванням Cr, Ni, Mo).

Переваги киснево-конвертерного виробництва:

- відносно невеликі капіталовкладення на спорудження цехів;
- висока продуктивність;
- можливість переробки значної частки металобрухту (до 25 %);
- відсутність потреби в паливі.

Недоліки:

- значні втрати металу на вигар;
- високий вміст газів ( $O_2$ ,  $N_2$ , CO,  $CO_2$  та ін.);
- складнощі при виплавці легованих сталей;
- процес потребує великої кількості рідкого чавуну (до 80 %);
- неможливість використання будь-якої кількості металобрухту.

## 2.4 Різновиди і варіанти конверторних процесів

Виробництво сталі може проходити (рис. 2.4):

- з верхньою продувкою;
- з нижньою продувкою;
- комбіновані.

Близько 96 % конверторів працюють лише із верхньою продувкою киснем.

У конвертерах для верхньої продувки киснем днище не містить сопел, а кисень подається зверху через водоохолоджувану фурму під тиском 1–2 МПа. Інтенсивність продувки становить 2–6 м<sup>3</sup>/(т·хв), питома витрата кисню – 50 м<sup>3</sup>/т, а тривалість безпосередньої продувки – 10–25 хв.

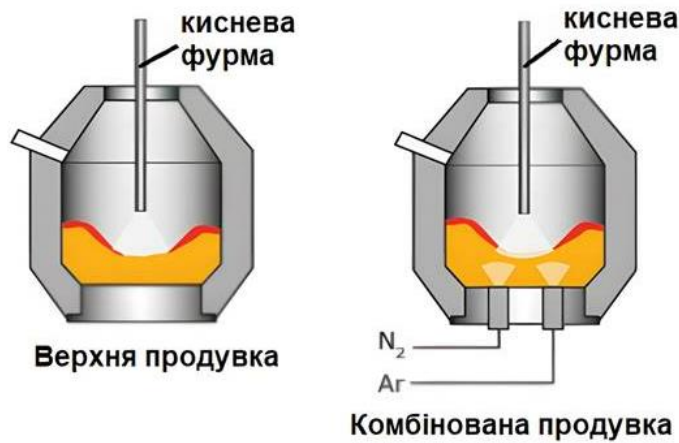


Рисунок 2.4 – Схеми продувки конвертора киснем


При донному дутті кисень подають через спеціальні щілинні коаксіальні фурми (труба в трубі) у середовищі захисного ендотермічного газу. Такий спосіб значно змінює характер конвертерного процесу: збільшується інтенсивність перемішування розплаву як струменями, так і бульбашками CO, що знижує окислення шлаку та металу, підвищує залишковий вміст Mn і вихід придатного металу. Одночасна подача пилоподібного вапна дозволяє ефективно видаляти фосфор, що робить можливим переробку високофосфористого чавуну. Водночас спостерігається підвищений вміст водню у сталі.

Переваги донного продування порівняно з верхнім:

- вища продуктивність і вихід рідкої сталі;
- спокійний перебіг плавки;
- можливість більш інтенсивної та стабільної продувки;
- менші капітальні витрати на будівництво цеху;
- отримання сталі з низьким вмістом вуглецю.

Технологічні особливості донного процесу:

- Постійна подача газів через фурми: кисень і вуглеводні під час продувки, аргон для видалення водню після продувки, азот або повітря в міжпродувні періоди для захисту фурм.
- Заливка чавуну при положенні конвертера, близькому до горизонтального, із захистом фурм азотом або повітрям.
- Продувка тривалістю 10–15 хв: витрата кисню 45–55 м<sup>3</sup>/т, природного газу 4–5 м<sup>3</sup>/т (пропан 1–2 м<sup>3</sup>/т, рідке паливо 2–3 л/т).

- 
- Після окисного рафінування проводять короткочасну продувку аргоном (іноді азотом) для видалення водню, що знижує його вміст з 8–10 до 3–4 ppm. Витрата аргону – 1–2 м<sup>3</sup>/т.
  - Відбір проби металу здійснюють у горизонтальному положенні конвертера.
  - У міжпродувні періоди через фурми подають азот або повітря для захисту та охолодження фурм (витрата 15–20 м<sup>3</sup>/т).

Донне продування не тільки отримало широке застосування, але й стало основою для комбінованих методів – одночасної подачі кисню через верхні чи бічні водоохолоджувані фурми і різних технологічних газів через днище. Для цього застосовують кисень у середовищі вуглеводневого палива або нейтральні гази (аргон, азот, CO<sub>2</sub>, CO).

Комбіноване дуття поєднує переваги верхнього та донного способів, значною мірою усуваючи їхні недоліки. Воно забезпечує:

- рівномірне та інтенсивне перемішування і масоперенос у ванні;
- зменшення або усунення неактивних зон;
- інтенсивніше осідання ванни та теплоперенос від газової фази і факела допалювання до металу.

У результаті комбіноване продування підвищує продуктивність, вихід придатного металу та якість сталі.

## **2.5 Шихтові матеріали конверторного процесу**

Шихтові матеріали (рис. 2.5) киснево-конвертерного процесу складаються з:

- 1) металевої частини (чавун, брукт, розкислювачі і легуючі добавки);
- 2) неметалічної (сипучі тверді охолоджувачі, флюси) частини.

Температура чавуну звичайно 1250÷1400 °С. Склад чавуну, зокрема вміст кремнію, має великий вплив на хід процесу, якість сталі, стійкість футерування, техніко-економічні показники роботи, особливо при охолодженні ванни залізнякам. З підвищенням вмісту кремнію в чавуні збільшується виділення тепла у ванні і тому потрібна велика добавка охолоджувачів (наприклад, руди, вапна); в результаті збільшується кількість шлаку і вміст кремнезему в ньому, втрати заліза зі шлаком та викидами. Відповідно знижується вихід придатного і стійкість футерування.




Рисунок 2.5 – Шихтові матеріали киснево-конвертерного процесу

Погіршується дефосфорація і десульфуррація металу, особливо при роботі без скачування первинного шлаку. Скачування шлаку збільшує тривалість продування і знижує вихід придатного. При низькому вмісті кремнію у чавуні (<0,3 %) сповільнюється розчинення вапна (тобто утворення шлаку), довшає безшлаковий період на початку плавки, що призводить до заметалювання та прогарів фурми, гіршає десульфуррація у зв'язку з малою кількістю шлаку. Зниження вмісту кремнію у чавуні (у зв'язку з особливостями доменного процесу) звичайно супроводжується зростанням вмісту сірки в ньому. Кращі показники киснево-конвертерного процесу отримані при вмісті кремнію 0,3÷0,5 % при охолодженні процесу рудою (допускається 0,4÷0,8 %). При охолодженні ванни скрапом (брухтом) оптимальний і допустимий вміст кремнію вищий внаслідок пом'якшення його шкідливої дії при розбавленні металевої ванни скрапом.

Низький вміст марганцю у чавуні спричиняє сповільнення шлакоутворення, оскільки в первинних шлаках буде міститися мало закису марганцю, який прискорює розчинення вапна. Зі зростанням вмісту марганцю у чавуні дещо знижується концентрація сірки у чавуні та в готовій сталі, в ряді випадків поліпшується шлакоутворення, але при цьому збільшується чад металу і знижується вихід придатного. Вважають, що чавун повинен містити 0,45÷1,0 % Mn.

Вміст фосфору у чавуні не повинен перевищувати 0,3 % (бажано <0,15 %, при більшому необхідне проміжне скачування шлаку, що знижує продуктивність конвертера). Зі зростанням вмісту фосфору збільшується



кількість шлаку в конвертері (звичайно потрібно провести його скачування в середині плавки), дещо знижується продуктивність агрегату, вихід придатного, стійкість футерування. При вмісті фосфору до 0,15 % можна працювати без зливу первинного шлаку.

Оскільки десульфурація металу при плавці протікає недостатньо повно, чавун повинен містити не більше 0,07% сірки. Підвищення вмісту сірки в чавуні призводить до збільшення його в сталі, що небажано, тому що вона є шкідливою домішкою (допустимий вміст сірки у чавуні 0,04÷0,05%).

Скрап застосовується як охолоджувач процесу. Кількість скрапу, що додається, збільшують при підвищенні вмісту кремнію і марганцю у чавуні, температури футерування конвертеру перед плавкою, а також при зменшенні вмісту вуглецю у сталі заданої марки (оскільки в цьому випадку збільшується чад залізу) і досягає звичайно 20÷30 % від ваги рідкого чавуну. Брухт повинен бути чистим від сторонніх домішок та малогабаритним, оскільки великі шматки можуть при завантаженні механічно пошкодити футерування конвертера. Зі збільшенням розмірів шматків брухту збільшується тривалість їх розчинення у металі (великі шматки можуть не встигнути розчинитися за час плавки). Застосування легковагового брухту або стружки небажане у зв'язку із збільшенням тривалості завалки. Найбільш зручний брухт – відходи прокатних цехів.

Сипучі тверді охолоджувачі (окислювачі) – залізняк, агломерат, окатиші або брикети з руди, або концентрату, прокатна окалина (фракційний склад 10÷80 мм).

Їх переваги в порівнянні з брухтом:


а) можливість їх подачі у конвертер порціями по ходу продування, що скорочує тривалість циклу плавки (приблизно на 5÷10 %);

б) зменшення питомої витрати газоподібного кисню (на 12÷15 %) в зв'язку з тим, що всі перераховані охолоджувачі містять кисень, що легко засвоюється ванною у вигляді оксидів залізу;

в) поліпшення шлакоутворення у зв'язку з тим, що руда вносить у ванну оксиди заліза (розчинник вапна) і не охолоджує так сильно ванну на початку плавки, як брухт, що вводиться зазвичай однією порцією;

г) пригар (відновлення заліза з руди).

Переваги брухту у порівнянні зі сипучими матеріалами:



а) більш постійний охолоджуючий ефект і повне (100 %) засвоєння, що забезпечує досягнення оптимальної температури для заданої марки сталі і сприяє підвищенню її якості, зменшення втрат металу при розливі;

б) більш спокійне протікання процесу (без викидів), що сприяє підвищенню виходу придатного;

в) мала кількість домішок у брукті, що зменшує загальний чад елементів, витрату шлакоутворюючих, кількості шлаку, втрати заліза зі шлаком.

Вибір методу охолодження плавки визначаються місцевими технологічними та економічними умовами (наявністю брукту, коштів для його оброблення, ціною брукту та ін.). У більшості випадків застосування брукту більш доцільне, ніж застосування руди звичайної якості. Хороші результати дає комбінований метод охолодження: в основному бруктом та комбінованими добавками руди (агломерату) для регулювання температури металу по ходу продування.


Не можна застосовувати пилоподібний залізняк. Шматки повинні бути розміром від 10 до 100 мм. Руда повинна містити  $>62\%$  Fe і менше за  $8\%$  SiO<sub>2</sub>.

Вимоги до сипучих матеріалів: вміст заліза повинен бути високим, а вміст кремнезему (менше за  $8\%$ ), вологи, сірки і дрібних фракцій – низьким. Більш низький вміст кремнезему мають окалина (менше за  $2,5\%$  SiO<sub>2</sub>), а також агломерат, окатиші, брикети, виготовлені з рудних концентратів. Тому їх застосування переважніше. Кількість сипучих охолоджувачів у шихті у разі плавки без використання брукту залежить від складу чавуна та його температури, звичайно становить  $4\div 7\%$ .

У якості флюсів (шлакоутворюючих) використовують вапно, вапняк, боксит, плавиковий шпат, соду.

Вапно (CaO) значною мірою визначає хід шлакоутворення, десульфурзації, дефосфорації та основні показники киснево-конвертерної плавки (вихід сталі, витрату матеріалів). Повинне бути свіжообпаленим рівномірного складу та містити не менше  $90\%$  CaO, не більше за  $3\%$  SiO<sub>2</sub> і  $0,10\%$  S, розмір шматків  $20\div 50$  мм. Застосування більш дрібних шматків недопустиме, тому що вони будуть винесені з конвертеру димовими газами, що відходять. Вміст вологи у вапні повинен бути мінімальним.

Боксит та плавиковий шпат (CaF<sub>2</sub>, ГОСТ 7618–83) подають для прискорення шлакоутворення і забезпечення потрібної в'язкості



(розрідження) шлаку. Велика кількість води у бокситі призводить до підвищення у сталі вмісту водню та викидів при завантаженні у конвертер, тому його сушать. Головний шлакоутворюючий вплив надає глинозем, що міститься у бокситі. Негативною особливістю бокситу є високий вміст у ньому кремнезему, іноді перевищуючий 20 %, що збільшує кількість шлаку та знижує стійкість футерування конвертера. Вміст кремнезему у бокситі не повинен перевищувати 0,5÷1,0 % від маси металевої шихти. У цей час замість бокситу частіше використовують плавиковий шпат (85÷95 %), що містить не більше за 5 % SiO<sub>2</sub>. Його добавка значно прискорює розчинення вапна та формування рухливого основного шлаку.

## 2.6 Технологія киснево-конверторної плавки

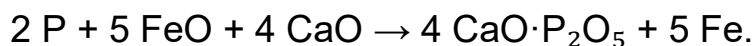
Перед початком роботи в конвертор завантажують залізну руду, стальний брухт, вапно та заливають рідкий чавун. Потім опускають фурму і починають продувку киснем. Під впливом дуття домішки чавуну окислюються, при цьому виділяється велика кількість тепла, що одночасно знижує вміст домішок у металі та підвищує його температуру, утримуючи рідкий стан.

Кисневий струмінь насамперед окислює залізо з утворенням закису заліза (FeO):  $2 \text{Fe} + \text{O}_2 \rightarrow 2 \text{FeO}$ .

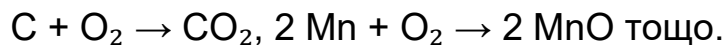
Частина закису переходить у шлак, а частково розчиняється в металі, сприяючи окисленню інших елементів:

- вигоряє вуглець:  $\text{C} + \text{FeO} \rightarrow \text{Fe} + \text{CO}$ ;
- окислюється марганець:  $\text{Mn} + \text{FeO} \rightarrow \text{Fe} + \text{MnO}$ ;
- окислюється кремній:  $\text{Si} + 2 \text{FeO} \rightarrow 2 \text{Fe} + \text{SiO}_2$ .


Для видалення фосфору його зв'язують у шлаку, утворюючи фосфорний ангідрид (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) за допомогою вапна:



У розплаві також відбуваються реакції прямого відновлення заліза:

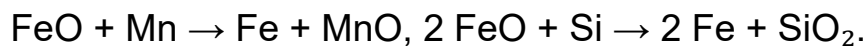


Під час плавки, коли вуглець та інші елементи вигоряють, виділяється надмірна кількість тепла, що може призвести до перегріву металу, руйнування футерівки конвертера та збільшеного вигару металу. Щоб уникнути перегріву, у розплав додають охолоджуючі матеріали — залізну



руду та стальний брухт. Охолодження залізної руди відбувається за рахунок ендотермічного відновлення заліза з руди в контактi з вуглецем чавуну, а брухт охолоджує метал шляхом нагрівання і плавлення.

Шлак, що накопичується, видаляють у процесі плавки. Коли вміст вуглецю досягає заданого рівня, продувку завершують, і сталь зливають у ківш. Однак у сталі залишається закис заліза, що робить її крихкою та знижує міцність. Щоб видалити цей небажаний елемент, сталь розкиснюють, додаючи у ківш феросиліцій, феромарганець, алюміній та інші більш активні до кисню елементи. Розкиснювачі зв'язують оксиди кремнію і марганцю, які піднімаються в шлак, а сталь очищається від розчиненого кисню:




Після розкиснення сталь розливають у форми (виливниці), де вона застигає у вигляді злитків. У кисневих конверторах виплавляють вуглецеві та низьколеговані сталі. Цей метод є найпродуктивнішим — тривалість плавки становить 50–60 хвилин. Паливо для нагріву не використовується, оскільки тепло забезпечують рідкий чавун і екзотермічні реакції окислення домішок. Основними недоліками способу є порівняно невисокий вихід металу (90–92 % від вихідної маси) і можливість переробки лише обмеженої кількості металобрухту.

## **2.7 Матеріальний і тепловий баланси плавки**

Рівень і структура матеріальних та енергетичних витрат відображають стан технології й техніки процесу, а їхній аналіз дозволяє виявляти резерви та планувати шляхи їх використання. Матеріальний та тепловий баланси конвертерного процесу тісно взаємопов'язані [10].

При продувці звичайного передільного чавуну киснем зверху виділяється стільки теплоти, що ванна може нагріватися до кінця процесу без додаткових охолоджувачів до 1850–1900°C. Для отримання наприкінці продувки стандартної температури 1580–1650°C витрати сталевого брухту становлять 24–28 %, а чавуну — 72–76 % від маси металеві шихти, залежно від його складу та початкової температури. Перевищення оптимальної кількості охолоджувача зазвичай пов'язане зі зростанням тепла, що виділяється при окисненні заліза, що зменшує вихід придатного металу.



Додатково застосовують тверді окислювачі (залізну руду, окалину, агломерат, окатиші, вапно), одна масова одиниця яких замінює у середньому 3–4 одиниці сталевого брухту. При введенні до 1 % твердого окислювача витрати брухту знижуються до 20–25 %, а чавуну відповідно збільшуються до 75–80 %.


Інші статті матеріального балансу при продувці передільного чавуну змінюються в таких межах: шлак, що потрапляє з чавуном у конвертер, становить 0,3–1,2 % від маси чавуну; забрудненість привозного брухту коливається від 0,5 до 2 %, а оборотного — 0,5–1,5 %. Кількість окалини на сталевому брухті також варіює; на чистішому оборотному брухті вона зазвичай 1–1,5 % [10].

За даними вітчизняних і закордонних підприємств, при переділі низькофосфористого чавуну, залежно від сортаменту сталі, основності шлаку, режиму продувки, якості вапна та інших параметрів, витрати плавикового шпату складають 1,5–5 кг/т сталі (частіше 2–3 кг/т), а витрати вапна — 60–90 кг/т. Знос футеровки конвертера та витрати вогнетривких матеріалів можуть досягати 1,4–5 кг/т сталі. Питомі витрати дуттєвого кисню в кисневих конвертерах становлять 45–60 м<sup>3</sup>/т сталі, зазвичай 50–55 м<sup>3</sup>/т.

Витрати матеріалів визначають вихід придатного металу. Різні виробничі умови та ступінь досконалості технології призводять до коливання виходу металу від 88 до 91 %. Втрати заліза відносяться до:

- виносу дрібних крапель металу і шлаку під час продувки — до 1 % від маси металозавалки;
- пилу та диму, що виноситься газами — 0,8–1,5 %;
- викидів та переливів металошлакової емульсії — до 2 %, а при значних порушеннях процесу — до 5 %;
- корольків металу, що залишилися у шлаку — 6–10 % від маси шлаку, а також у вигляді оксидів заліза шлаку.

Резерви покращення теплового балансу конвертерного процесу полягають у збільшенні внесеної фізичної та хімічної теплоти та зменшенні теплових втрат. При чітко організованій роботі конвертерів — без простоїв, додувок та тривалих пауз на аналіз — типові втрати теплоти через корпус, горловину, футеровку та водоохолоджувану фурму складають 1,5–3,0 % від надходження тепла. При неритмічній роботі ці втрати можуть зростати до 12 % і більше.



У прибутковій частині балансу поряд із фізичною теплотою чавуну значну роль відіграє теплота від окислювання вуглецю (~66 % всієї теплоти хімічних реакцій), яка при оптимальних умовах може досягати до 75 % за менших витрат металобрухту та відповідно більших — чавуну. Кремній у розплаві також істотно впливає на тепловий баланс: кожні 0,1 % Si додають 1,8 МДж на 100 кг металевої шихти, забезпечуючи 13–20 % від загальної теплоти хімічних реакцій. Вміст марганцю має менший вплив, а фосфор практично не впливає на тепловий баланс при переділі передільних чавунів.

Вуглець у киснево-конвертерному переділі є основним джерелом тепла. Для стислості говорять про окислювання С до  $\text{CO}_2$  у ванні конвертера, маючи на увазі кінцеву теплову віддачу металевій ванні, а не механізм реакції. Якщо б весь вуглець окислювався до  $\text{CO}_2$ , теплота від його окислення зростає в 2,4–2,6 рази. Тому підвищення ступеня окислювання С до  $\text{CO}_2$  стає все важливішим для економії енергії.

За останні роки через збільшення інтенсивності продувки (з 1,5–2,0 до 3–4  $\text{нм}^3/(\text{хв}\cdot\text{т})$ ) і динамічного тиску кисню, що надходить з фурми, відношення  $\text{CO}_2/(\text{CO}+\text{CO}_2)$  у газах з конвертера знизилося. Це відношення також залежить від конструкції наконечника фурми та його висоти в конвертері. Збільшується зі зростанням числа сопел, кута їх нахилу та підйому фурми, хоча ці параметри визначаються насамперед технологічною необхідністю продувки, і відношення  $\text{CO}/(\text{CO}+\text{CO}_2)$  часто має пріоритет.

Роль інших елементів у тепловому балансі значно менша, ніж вуглецю. Отже, при кисневому переділі будь-якого чавуну основним фактором формування теплового балансу є вуглець. Підвищення його концентрації у ванні та збільшення частки, яка окислюється до  $\text{CO}_2$ , дозволяє значно покращити тепловий баланс киснево-конвертерного процесу.

## **2.8 Виробництво сталі в подових агрегатах**

Мартенівський процес (рис. 2.6) та його похідні досі використовуються в сучасній металургії для виробництва сталі. Цей метод, ще у ХІХ столітті вирішив проблему переробки чавуну змінної якості, до 1960-х років був

основним способом сталеплавильного виробництва. Він відзначався відносною простотою організації контролю та управління плавкою [8].

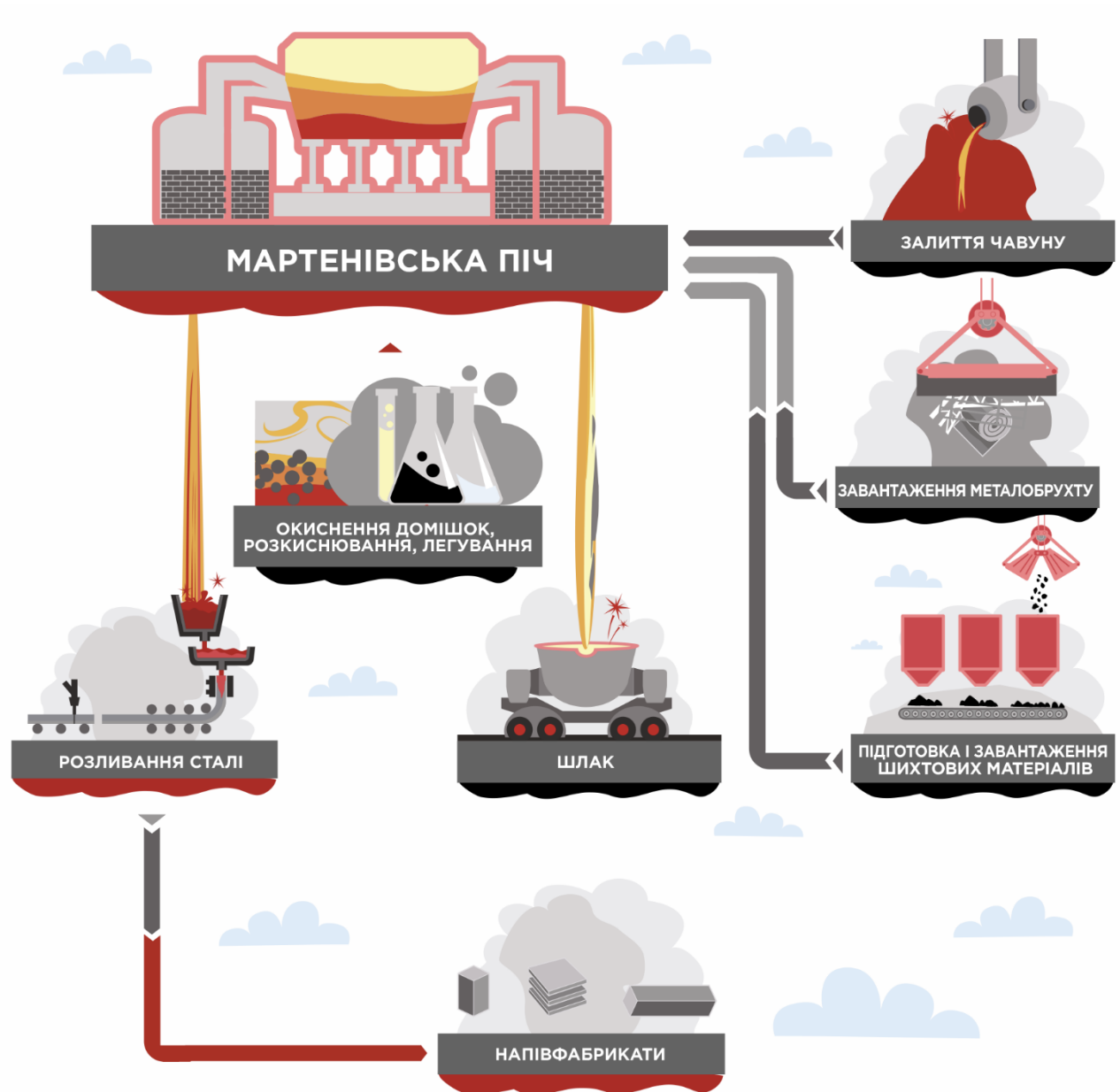



Рисунок 2.6 – Схема мартенівського виробництва [1]

У другій половині ХХ століття швидко розвився більш продуктивний киснево-конвертерний процес, що поступово витіснив мартенівські технології у світі. Проте деякі мартенівські цехи залишаються діючими в Україні, країнах СНД та Східній Європі. У мартенівських печах сталь



виробляють шляхом окислювальної плавки завантаженої шихти, яка включає чавун, металобрухт, залізну руду та флюси. Металева частина шихти складається з рідкого чавуну (55–75%) та металобрухту. Повний цикл плавки триває 6–8 годин, а збільшення частки брухту подовжує процес.

Мартенівський метод набув популярності завдяки можливості використовувати різноманітну сировину та паливо. Це універсальний спосіб отримання широкого асортименту вуглецевих і легованих сталей.

До переваг мартенівського способу відносяться:

- можливість отримання сталі заданого хімічного складу, включно з легованими сталями;
- вища якість сталі порівняно з конвертерним процесом за рахунок зниженого вмісту шкідливих домішок (сірки, фосфору, газів, неметалевих включень);
- можливість використання будь-якої кількості металобрухту в шихті.

Недоліками є низька продуктивність (плавка триває 6–12 годин), висока вартість обладнання та великі капітальні витрати. Тому поступово мартенівський спосіб замінюється конвертерним.

Для прискорення плавки в мартенівських печах застосовують додаткове кисневе збагачення:

1. повітряне дуття збагачують киснем до 25–35 %;
2. короткочасно подають кисень безпосередньо в піч.

Мартенівська піч — це складний агрегат із горизонтально розташованою плавильною камерою, викладеною вогнетривкою цеглою та укріпленою сталевим каркасом з посиленими балками, колонами і облицювальними плитами. Всі основні процеси — спалювання палива та плавка сталі — відбуваються у робочому просторі (рис. 2.7).

Внутрішньо піч нагадує велику ванну, обкладену вогнетривкою цеглою, зі склепінчастим дахом і подиною. Передня стінка оснащена вікнами для завантаження шихти, а задня має отвори для випуску металу та шлаку, які закриваються корками з вогнетривкої глини, щоб запобігти передчасному витіканню сталі.

Стіни: задня стінка робочого простору нахилена під кутом 45–55° для більшої міцності і обладнана теплоізоляцією через великі тепловтрати. У ХХ столітті почали робити передню стінку похилою, що підвищувало

стійкість конструкції. У ній розташовані завантажувальні вікна, захищені металевими рамами та футерівкою з магнезитової цегли, закриваються сталевими заслонками з оглядовими отворами.

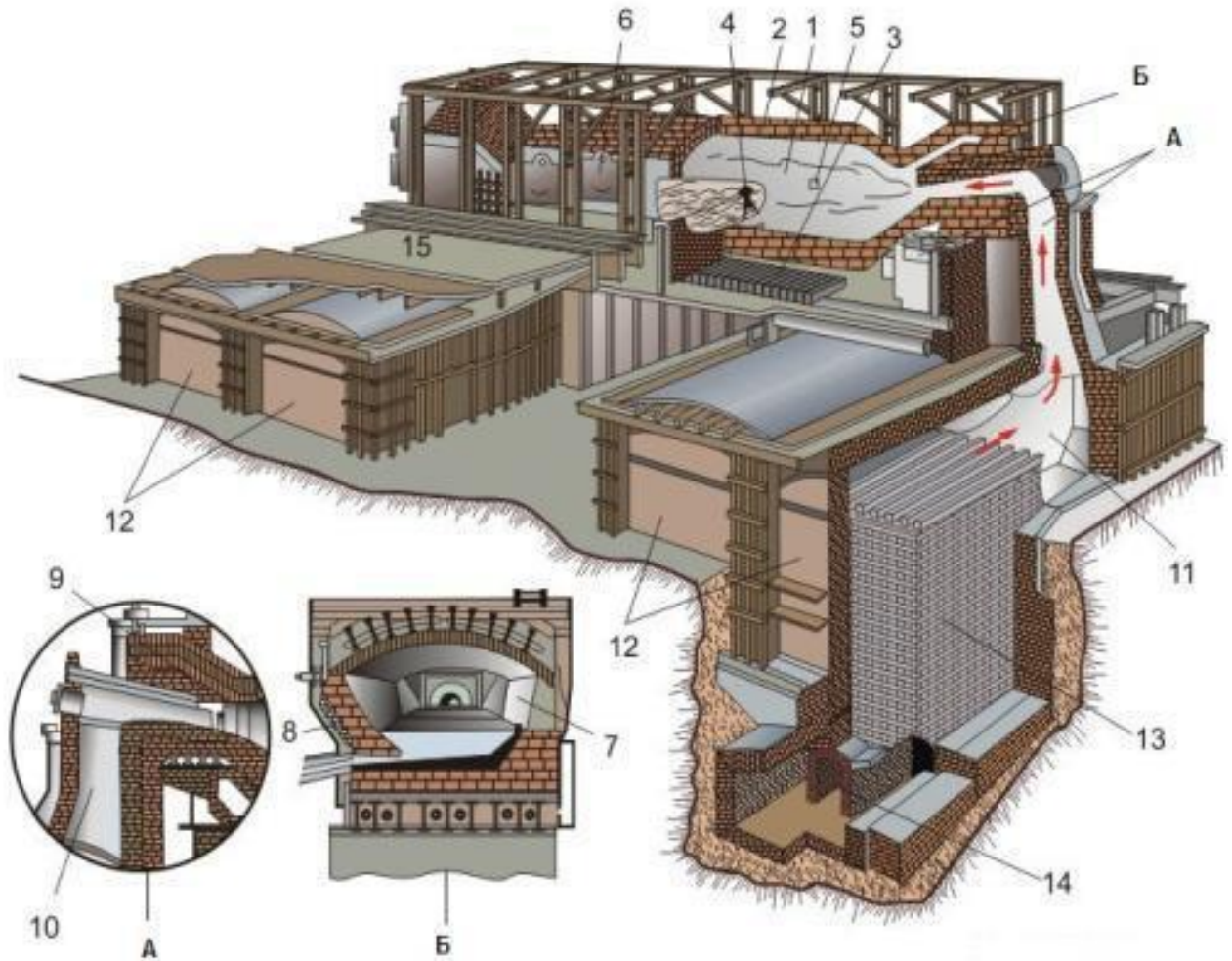



Рисунок 2.7 – Мартенівська піч: 1 – робочий простір; 2 – склепіння; 3 – подина; 4 – сталевипускний отвір; 5 – отвір для спуску шлаку; 6 – завалочні вікна; 7 – передня стінка; 8 – задня стінка; 9 – головки; 10 – вертикальні канали; 11 – шлаковик; 12 – регенератори; 13 – насадка регенераторів; 14 – борова; 15 – робочий майданчик

Склепіння (звід) печі виконує важливу роль у відбиванні тепла. Воно піддається температурі понад 1700 °С, термічним ударам факела, абразивному та хімічному впливу пилу і бризок шлаку. Зводи найчастіше аркові, збираються з прямих і клинових цеглин та підвішуються до металоконструкцій за допомогою штирів і сталевих пластин. У склепінні



вбудовані фурми для подачі кисню, з невеликим нахилом у напрямку голівок печі.

Головки печі — конструктивні елементи на торцях робочого простору для займання палива. Одна головка подає полум'я, інша відводить продукти горіння. У рекуперативному режимі головки забезпечують змішування палива з підігрітим повітрям, правильний напрям факела та відведення димових газів.

Шлаковики — це камери для збору пилу та часток шлаку, що захоплюються газами з робочого простору. Вони мають більший поперечний переріз, ніж вертикальні канали, та футеруються залежно від виду палива. Робочий об'єм шлаковиків розраховується на весь міжремонтний період, оскільки печі працюють з рідкісними зупинками.


Регенератори — камери з насадкою, які накопичують тепло відхідних газів і передають його паливному газу або повітрю, що подається в робочий простір. Вони також викладаються вогнетривкою цеглою та закріплюються в сталевому каркасі, з'єднані з боровами для відведення газів до димаря або котла-утилізатора.

Перекидні клапани та шибери регулюють напрям і інтенсивність руху газів. У автоматичному режимі вони перекривають або дозують потік, забезпечуючи стабільну тягу без різких поворотів.

Подина печі — нижня основа робочого простору, виготовлена з вогнетривких матеріалів, товщина яких відповідає місткості печі. Вона витримує температуру до 1600 °С і ударні навантаження при завантаженні шихти. Цегляна кладка подини додатково покривається наварюванням, щоб запобігти прориву металу.

## **2.9 Принцип роботи мартенівської печі**

Мартенівський процес проходить на поду робочого простору відбивної печі і базується на теплі, що надходить від факела. Він передбачає переробку чавуну та металевого брухту, які завантажуються у робочий простір печі. Основна частина тепла надходить до ванни від робочого простору за рахунок випромінювання факела та тепловіддачі від кладки. Оскільки для виплавки сталі потрібна температура до 1700 °С, у робочому просторі додатково спалюють газоподібне або рідке паливо в



струмені повітря. Це дозволяє компенсувати нестачу теплової енергії, яку не забезпечують хімічні реакції та фізичне тепло шихтових матеріалів.

Головний механізм передачі тепла — випромінювання від факела. Кладка поглинає частину енергії та відбиває її від склепіння на поверхню ванни. У потоці нагрітого повітря відбувається спалювання палива, що подається через головку, а відхідні димові гази підігрівають насадку регенератора, яка, в свою чергу, підігріває повітря для печі. Реверсивні потоки повітря, керовані перекидними клапанами, забезпечують ефективну регенерацію тепла.

Надлишок кисню створює окисну газову атмосферу, під впливом якої метал піддається прямому і непрямому окисленню. Після формування шлакового шару тепло передається металу через нього.


Мартенівську плавку умовно поділяють на кілька етапів:

1. Заправка печі. Після випуску попередньої плавки оглядають піч, перевіряють стан подини та стінок, що контактували зі шлаком. Місця, що піддавалися впливу шлаку, за потреби ремонтують за допомогою заправних машин, наносячи доломіт або магнезит. Цю операцію проводять обов'язково після кожної плавки.

2. Завалка та плавлення шихти. Ці етапи визначають продуктивність печі і займають 60–75 % загального часу плавки. Виконують раціональне розміщення твердої шихти (сталевий брухт, чушковий чавун, руду, вапняк) на подині, заливають рідкий чавун і збільшують подачу палива. При досягненні температури 1450–1500 °С шихта повністю розплавляється. В цей час відбувається інтенсивне окислення домішок і формування залозистого шлаку.

3. Кипіння, розкислення та легування (період рафінування). Починається після повного розплавлення металу і формування шлаку. Для якісних марок сталей часто проводять продування ванни киснем або вводять мінімальну порцію залізної руди. Це сприяє енергійному кипінню ванни, спіненню шлаку і його зручному скиданню. Додають флюси (вапно, плавиковий шпат, боксит) для підтримки основності шлаку та видалення фосфору.

Під час кипіння відбувається окислення надлишкового кремнію, частини марганцю і вуглецю, формування основного шлаку та підвищення температури ванни, що сприяє видаленню сірки. Мистецтво сталевара



полягає у точному регулюванні складу і температури металу до завершення доведення.

4. Випуск плавки. Плавку вважають готовою, коли сталь досягла заданого хімічного складу та температури. Сталь раскиснюють марганцем, кремнієм і алюмінієм у печі, після чого випускають через сталевий отвір, закритий спеціальним закупорювальним складом.

Сучасні модернізовані мартенівські печі часто збагачуються киснем для прискорення процесу плавки.

## 2.10 Паливо та шихтові матеріали доменної плавки


По суті плавка в мартені – переділ чавуну, сталевого лому і скрапу в сталь заданої марки. Забезпечити необхідні фізико-хімічні властивості можливо тільки при строгому дотриманні співвідношення всіх компонентів шихти, яка складається з декількох основних і допоміжних матеріалів [11].

Таблиця 2.1 – Шихта для мартенівської плавки сталі [11]

Основні групи	Склад
металева	чавун; сталевий брухт; розкисники; легуючі елементи; залізорудна сировина; агломерат
неметалева	зварювальний шлак; вапняк; вапно; боксит

Основним джерелом вуглецю, необхідного для нормального перебігу мартенівського процесу, є чавун, який подають у піч у рідкому вигляді або у формі чушок. Співвідношення чавуну та сталевого брухту в шихті визначається типом процесу, економічними умовами та маркою сталі, яку планують отримати. Для розкислення і легування сталі застосовують феросплави та окремі чисті метали, зокрема алюміній і нікель.

Залізна руда та мартенівський агломерат виконують роль окисників і водночас діють як флюси, що сприяють швидкому утворенню активного шлаку. Як додатковий окисник може використовуватись окалина. Для формування шлаку необхідної консистенції та складу, який забезпечує ефективно протікання окислювальних реакцій, видалення шкідливих домішок і рівномірний нагрів металу, застосовують вапняк, вапно, боксит або плавиковий шпат.



На відміну від конвертерного виробництва, мартенівський процес потребує додаткового зовнішнього джерела тепла, оскільки нагрів і плавлення металу відбуваються за рахунок згоряння палива. Переважно використовують газоподібне паливо — природний, коксовий, доменний або генераторний газ. Рідке паливо (мазут, смоляні масла, кам'яновугільна смола) застосовується для створення яскравого факела полум'я.

Для повного згоряння палива в піч подають повітря в кількості, що трохи перевищує теоретично необхідну, що забезпечує надлишок кисню в продуктах горіння. У результаті відбувається інтенсивне окиснення заліза та інших елементів шихти. Для підвищення ефективності процесу частину повітря замінюють киснем або безпосередньо подають його у ванну.

Під час плавки утворюється шлак — суміш оксидів  $\text{FeO}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{MnO}$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$  та інших сполук, які надходять у процес з флюсами, домішками шихти та частково з вогнетривкої кладки. Шлак виконує кілька ключових функцій: він поглинає домішки з металу, передає кисень з газової фази до розплаву, забезпечує теплопередачу від факела до металу, а також захищає ванну від надмірного окиснення та насичення газами. У різні стадії мартенівської плавки склад і кількість шлаку регулюють відповідно до технологічних вимог.

## 2.11 Різновиди мартенівського процесу

Залежно від виду вогнетривів і складу шлаків мартенівський процес поділяють:

- кислий
- основний.

Залежно від виду палива і його теплотворної здатності печі можуть мати:

- дві пари регенераторів - для підігріву і повітря, і газу (при опаленні печі газом з невисокою теплотворною здатністю)
- одну пару (коли піч опалюється висококалорійним паливом, підігрів якого або не потрібен, небудь важко здійснимо).

Залежно від ємності (під терміном "ємність печі" зазвичай розуміється та маса металошихти, яку можливо завантажити в піч) на печі:

- малої місткості (<125 т)
- середньої місткості (125-300 т)

- 
- великовантажні печі.

За характером шихтових матеріалів мартенівський процес ділиться на кілька різновидів [11]:

- Скрап-процес. За цією технологією мартенівська плавка здійснюється переважно з використанням сталевого брухту, який становить основну частину металевої шихти — близько 55–75%. Частка чавуну при цьому складає 25–45%, і він подається у піч у твердому (чушковому) вигляді. Перевагою такого процесу є ефективне використання вторинної металевої сировини та можливість його застосування на підприємствах з неповним металургійним циклом.

- Скрап-рудний процес. Цей спосіб плавки передбачає, що головну частину металевої шихти становить рідкий чавун, частка якого зазвичай досягає 55–80%. Технологія доцільна для металургійних комбінатів повного циклу, де є власне доменне виробництво. Для інтенсифікації окисних процесів і підвищення виходу сталі в шихту додають значну кількість залізної руди з високим вмістом металу.

- Рудний процес. У цьому випадку металева частина шихти повністю складається з рідкого чавуну (100%). Такий метод виплавки застосовують переважно в регіонах, де обмежені ресурси металобрухту.

- Скрап-вугільний (карбюраторний) процес. Під час цієї плавки металева шихта формується виключно зі сталевого брухту, а необхідну кількість вуглецю вводять у вигляді вуглецевмісних матеріалів — графіту, вугілля або коксу. Через технологічні та економічні обмеження цей метод не набув широкого промислового використання.

Загалом понад 95% мартенівської сталі у світовій практиці виробляється за скрап-процесом та скрап-рудним процесом

## **2.12 Схема роботи ДСПА (двохванний сталеплавильний агрегат)**

Перспектива розвитку сталеваріння в мартенівських печах полягає в повній заміні однованних печей на двованні. Створення двованних сталеплавильних агрегатів було спричинено необхідністю підвищення продуктивності мартенівських печей при збереженні всіх їх переваг, зокрема, по переробці достатньо високої частки металобрухту (до 40÷45%) у шихті, а також більш повного використання тепла, яке виділяється над

ванною при допалюванні CO до CO<sub>2</sub> при високій інтенсивності продувки ванни.

Двохванні печі — це плавильні агрегати, які складаються з двох окремих ванн, кожна з яких має власну головку, вертикальний канал, шлаковик, а також спільну систему свиней і перекидних клапанів (рис. 2.8).

Принцип роботи таких печей полягає в чергуванні процесів: поки в одній ванні здійснюється продування металу киснем, у другій відбувається попередній підігрів твердої шихти (металобрухту та допоміжних матеріалів) за рахунок тепла відхідних газів з першої ванни. Це дозволяє підвищити загальну продуктивність агрегату.

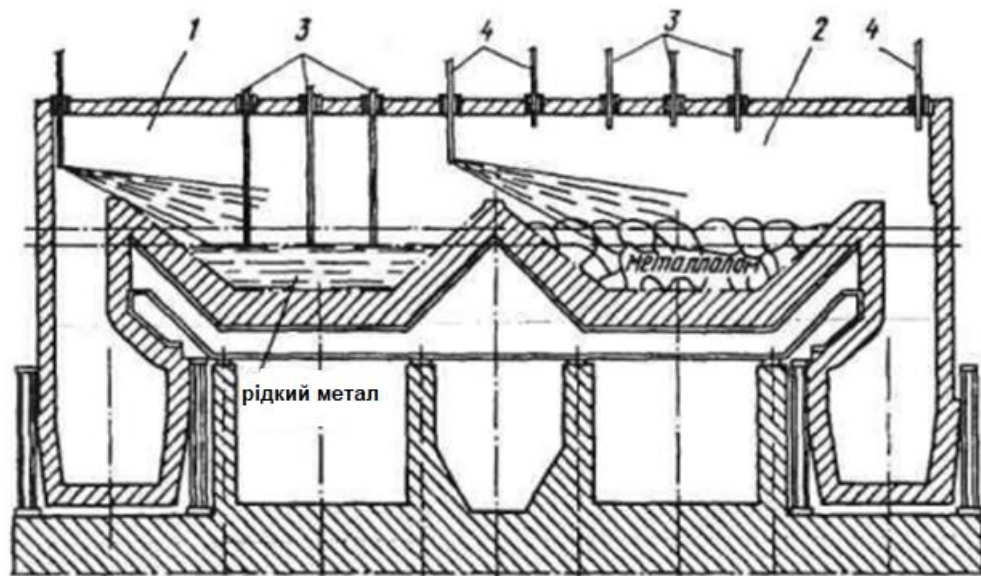



Рисунок 2.8 - Схема двованної сталеплавильної печі: 1 – ванна I, 2 – ванна II, 3 – кисневі фурми, 4 – паливо-кисневі пальники

Процес плавки у двохванній печі загалом подібний до мартенівського з інтенсивним кисневим продуванням, однак має певні відмінності. На початковій стадії (після заливки чавуну) у шлаку спостерігається підвищений вміст оксидів заліза — 30–40% і більше. Під час активного зневуглицювання їх кількість дещо зменшується, але наприкінці плавки знову зростає.

Основне тепло у ванні виділяється внаслідок окиснення заліза та його домішок. Через більшу тепловіддаючу поверхню температура в робочому



просторі двохванної печі нижча, ніж у мартенівській або конвертерній, а температура шлаку, як правило, не перевищує температуру металу.

Нижча температура шлаку ускладнює утворення активного рідкоплинного високоосновного шлаку. Тому під час плавки зазвичай не вводять великих порцій вапна, а використовують метод підйому однієї чи двох фурм, що інтенсифікує окиснення заліза та сприяє формуванню гомогенного шлаку.

У шлаку двохванної печі вміст  $\text{SiO}_2$  нижчий, ніж у мартенівській плавці, оскільки залізну руду зазвичай не додають під час завалки. Поступово підвищується основність шлаку (співвідношення  $\text{CaO}/\text{SiO}_2$ ) — від близько 2 на етапі розплавлення до ще вищих значень у період доведення. Це забезпечує ефективну десульфуріацію металу, а підвищена окисненість шлаку сприяє успішній дефосфорації.

Тепловий баланс. При вмісті понад 65% рідкого чавуну у шихті двохванні печі можуть працювати без додаткового палива. Якщо ж частка металобрухту більша, енергетичний дефіцит компенсується подачею палива. Кількість необхідного тепла залежить від складу чавуну, зокрема від вмісту кремнію.

Подача палива здійснюється через газо-кисневі пальники, розташовані у склепінні та торцях печі. Вони можуть бути стаціонарними або рухомими. У середньому на 1 тону сталі витрачається 70–75 м<sup>3</sup> кисню і 3–4 кг вогнетривів, а споживання палива визначається складом шихти.

Переваги двохванних печей (ДСПА):

- узгоджена робота ванн забезпечує стабільний ритм роботи сталеплавильного й прокатного виробництв;
- вища продуктивність порівняно з мартенівськими печами;
- проста конструкція, зручність ремонту, короткі простої;
- можливість монтажу в існуючих мартенівських цехах;
- низьке споживання палива та вогнетривів;
- підвищена продуктивність праці.

Недоліки ДСПА:

- підвищена витрата чавуну;
- значний угар заліза і зменшений вихід придатного металу;
- потреба у високоефективній системі газоочистки;
- обмеження асортименту сталей через орієнтацію на високу продуктивність агрегату.

## 2.13 Електрометалургійний спосіб отримання сталі

**Електрометалургія** – це порівняно сучасний метод виробництва сталі на відміну від мартенівського та киснево-конверторного способів. В ньому основною сировиною є металобрухт, який за рахунок електричної дуги у печі переплавляється на рідку сталь (рис. 2.9).

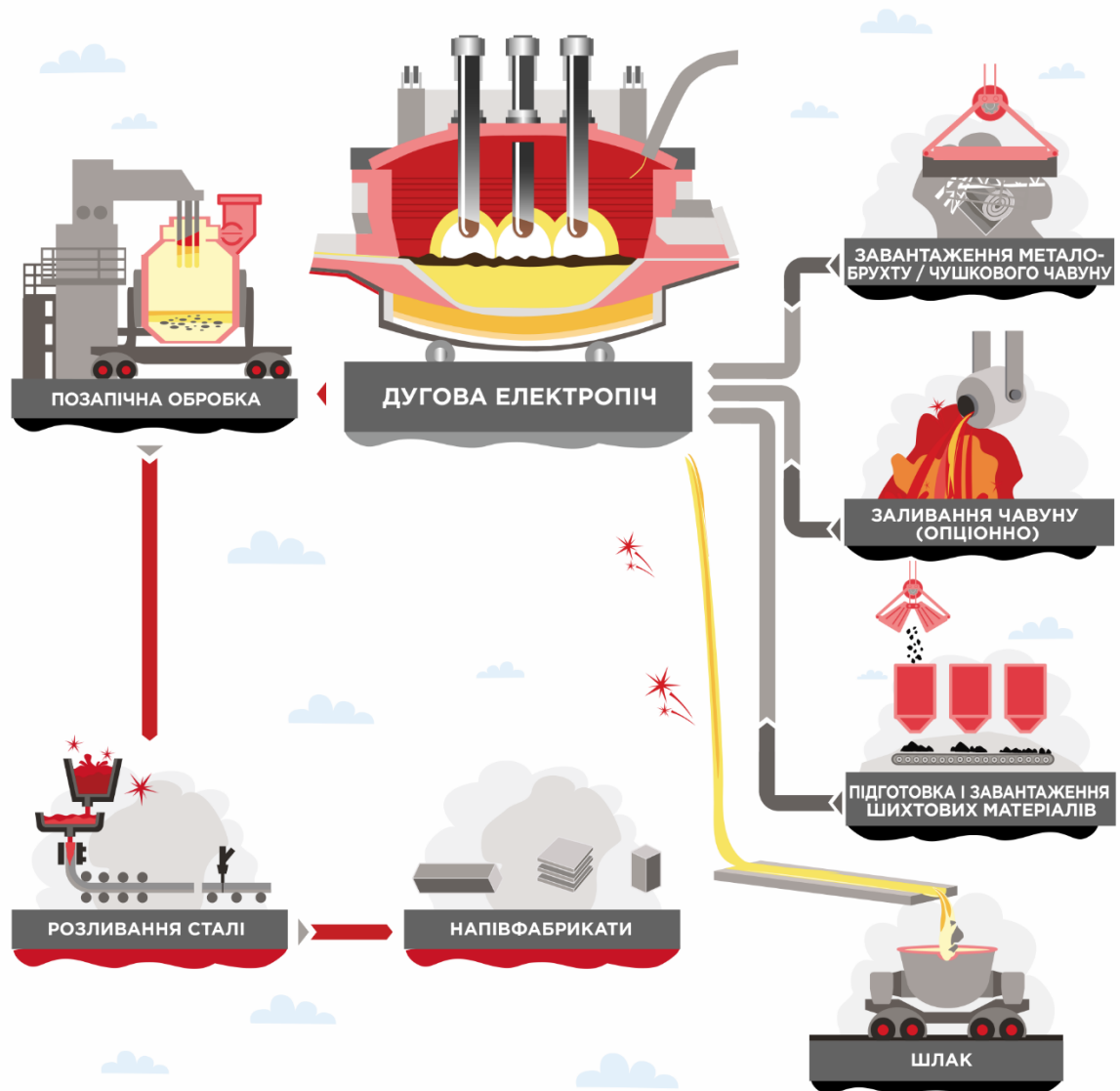



Рисунок 2.9 – Схема електрометалургійного процесу [1]

Електрометалургійний спосіб виробництва сталі почали використовувати на початку ХХ ст. Цим способом сталь виплавляють у дугових і індукційних електропечах. В них досягають високих температур,



що перевищують 2000 °С. Це дає змогу виплавляти сталі і сплави будь-якого складу. Створення відновлювального середовища або вакууму сприяє доброму розкисненню сталі, виведенню газів, якісному очищенню від сірки і фосфору.

Електропечі – це спеціалізоване електротермічне обладнання, яке перетворює електричну енергію на теплову [8].

У дугових та індукційних печах виробляють електросталь, що характеризується високими якісними показниками. Проте цей процес є енергомістким і, відповідно, дорогим, тому його активно розвивають переважно промислово розвинені країни — США, Індія та Китай. На сьогодні електросталь становить близько третини світового обсягу сталеплавильного виробництва, причому основна її частка припадає на виплавку в дугових печах.

Місткість електропечей може варіюватися від 0,5 до 400 тон, а тривалість однієї плавки становить лише 40–55 хвилин, що дозволяє здійснювати до 40 плавок на добу. Такі печі забезпечують отримання високоякісної сталі, особливо конструкційних, спеціальних і високолегованих марок.

Дугові плавильні печі працюють на трифазному змінному струмі та обладнані трьома графітованими циліндричними електродами (рис. 2.10). Електричний струм подається від трансформатора до електродів, між якими і металевую шихтою утворюється електрична дуга. Вона перетворює електроенергію на теплоту, що передається металу та шлаку випромінюванням. Довжину дуги автоматично регулюють, а зношені електроди поступово нарощують.

Під печі футерують вогнетривкою цеглою — основною або кислою, залежно від типу плавки. Стіни, подину й знімне склепіння також облицьовують вогнетривкими матеріалами. Хід плавки контролюють через оглядове вікно, а готову сталь випускають через спеціальний отвір у жолоб, який веде до ковша. Конструкція печі дозволяє нахилити її для полегшення зливу металу.

У дуговій печі можуть здійснювати два типи плавки:

- переплав легованих відходів без окислення домішок, коли у сталь додають легуючі елементи (переважно у вигляді феросплавів);

- плавку вуглецевої шихти з повним окисленням домішок — цей варіант застосовують, якщо вихідні матеріали містять фосфор або відрізняються за хімічним складом від потрібної марки сталі.

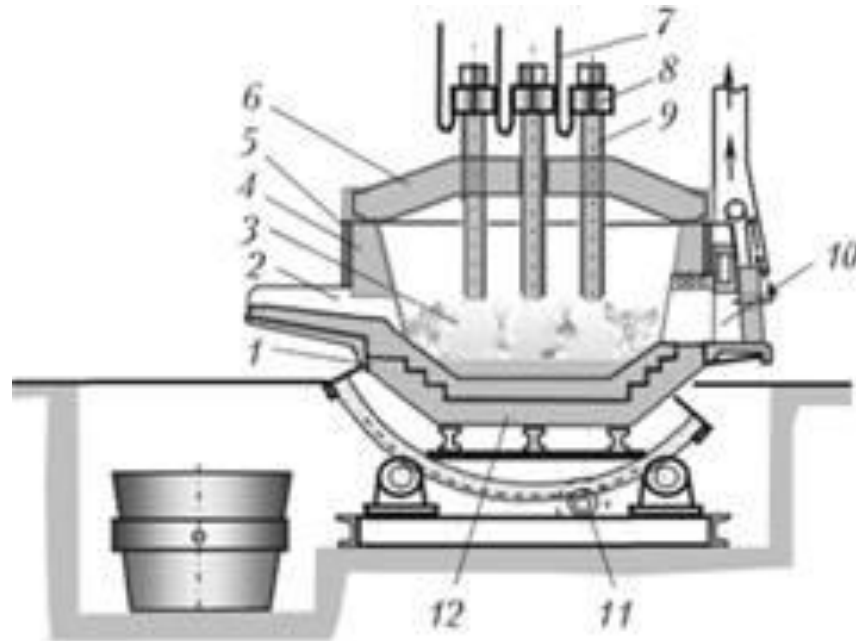


Рисунок 2.10 – Схема дугового плавильної печі: 1, 4 – вогнетривка цегла; 2 – випускний отвір; 3 – шихта; 5 – стінки печі; 6 – склепіння; 7 – кабель для підведення струму; 8 – електротримачі; 9 – електроди; 10 – вікно для контролю плавки; 11 – привід для нахилення печі; 12 – під печі [12]

Споживання електроенергії при виплавці становить у середньому 600–1000 кВт·год на 1 тону сталі. Робоча напруга під час плавки сягає 100–200 В для невеликих печей і 400–600 В для великих, при цьому сила струму вимірюється тисячами або навіть десятками тисяч ампер.

Основні етапи виплавляння сталі в дугових печах включають:

1. підготовку подини;
2. завантаження шихти;
3. опускання електродів;
4. розплавлення шихти та окислення домішок;
5. злив шлаку;
6. кипіння розплаву;
7. випуск готової сталі.

Переважна частина електросталі у світі виробляється саме в дугових сталеплавильних печах.

Індукційні печі призначені для плавлення металеві шихти, яка розміщується в тиглі, розташованому всередині індуктора — спіралі з багатьма витками з провідного матеріалу (рис. 2.11). Через індуктор пропускають змінний електричний струм. У результаті всередині індуктора утворюється змінне магнітне поле, яке індукуює в металі вихрові струми. Саме вони викликають нагрівання та розплавлення шихти.

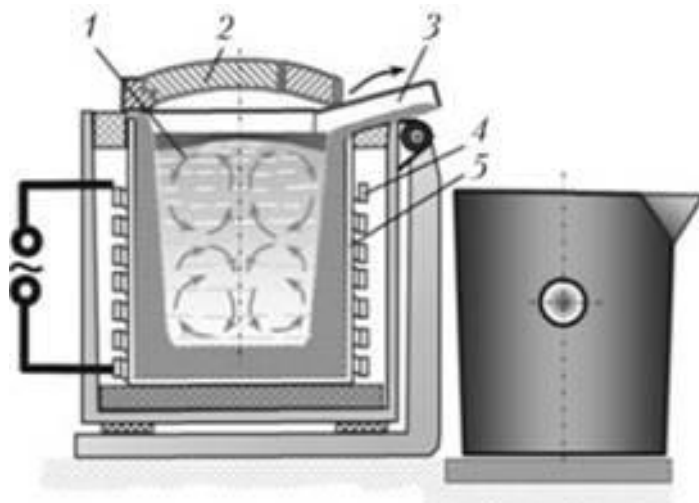



Рисунок 2.11 – Індукційна тигельна плавильна піч: 1 - металева шихта - одержуваний чистий метал; 2 - знімне склепіння; 3 - зливний носок; 4 - індуктор; 5 - тигель

Для живлення індукційних печей використовують генератори різного типу: для невеликих печей — лампові або іскрові (з частотою струму до  $10^6$  Гц), для великих — машинні генератори з частотою до  $10^4$  Гц.

Тигель печі виготовляють із вогнетривких матеріалів — кислих (кварцит) або основних (магнезитовий порошок). У печах з основною футеровкою виплавляють високоякісні леговані сталі з підвищеним вмістом марганцю, нікелю, титану чи алюмінію, а з кислою — конструкційні леговані сталі з іншими домішками. Для зменшення теплових втрат піч обладнана знімним склепінням.

Важливою особливістю індукційних печей є інтенсивна циркуляція рідкого металу. Вона виникає під дією електромагнітних сил, які




створюються взаємодією струмів у індукторі та вихрових струмів у металі. Ці сили забезпечують перемішування розплаву: верхній шар металу віджимається від стінок тигля, а всередині утворюється електродинамічний рух, що сприяє рівномірному прогріванню й однорідності складу сталі.

Порівняно з дуговими печами, індукційні мають низку переваг — відсутність електричної дуги дозволяє отримувати сталь із мінімальним вмістом вуглецю, газів і з незначними втратами легуючих елементів. У таких печах здійснюють як переплав легованих відходів, так і плавлення з чистого заліза чи скрапу з додаванням феросплавів.

Ємність індукційних печей варіюється в широкому діапазоні — від 0,01 до 25 тонн.

### **Питання до самоконтролю:**

1. Коли та яким чином людина вперше навчилася отримувати сталь?
2. У чому полягала суть перших способів виробництва сталі?
3. Які основні етапи розвитку сталеплавильного виробництва у світі?
4. Які чинники сприяли переходу від сиродутного до промислового способу виплавки сталі?
5. Як розвивалося сталеплавильне виробництво в Україні?
6. У чому полягає суть конвертерного процесу?
7. Які переваги має конвертерне виробництво сталі порівняно з іншими методами?
8. Які основні типи конвертерів застосовуються в сучасному виробництві?
9. Які види сировини використовують у конвертерному процесі?
10. У чому полягає значення кисневого дуття при плавці сталі?
11. Які хімічні реакції лежать в основі процесу окиснення домішок у конвертері?
11. Яку роль відіграють флюси у процесі виплавки сталі в конвертері?
12. Як відбувається утворення шлаку і яку функцію він виконує?
13. Як змінюється температура в конвертері протягом плавки?
14. Які фактори впливають на якість отриманої сталі?

- 
15. Які існують види конвертерів за способом подачі кисню?
  16. Чим відрізняються верхнє, нижнє та комбіноване дуття?
  17. Які особливості має процес виплавки сталі в конвертерах з верхнім дуттям?
  18. У чому переваги та недоліки конвертерів із комбінованим дуттям?
  19. Які сучасні технологічні варіанти конвертерного процесу застосовуються на металургійних заводах України?
  20. Які види металошихти використовуються для конвертерної плавки?
  21. Яке призначення чавуну, металобрухту та флюсів у шихті?
  22. Як якість шихтових матеріалів впливає на хід плавки?
  23. Які вимоги висуваються до металобрухту, що використовується у конвертері?
  24. Яке співвідношення між чавуном і брухтом застосовується у типових шихтах?
  25. Які основні етапи проходить процес киснево-конвертерної плавки?
  26. Як здійснюється подача кисню в конвертер і яким має бути його тиск?
  27. Які процеси відбуваються під час продувки чавуну киснем?
  28. Які основні показники контролюються під час плавки?
  29. Як здійснюється випуск сталі та шлаку після завершення продувки?
  30. Що таке матеріальний баланс і які показники він враховує?
  31. Які основні складові теплового балансу конвертерного процесу?
  32. Як визначають джерела тепла у процесі плавки сталі?
  33. Яке значення має контроль теплового режиму для якості сталі?
  34. Як втрати тепла впливають на економічність виробництва?
  35. У чому полягає принцип роботи подових сталеплавильних агрегатів?
  36. Які переваги та недоліки має подовий спосіб виплавки сталі?
  37. Які основні стадії процесу отримання сталі у подових печах?
  38. Які матеріали використовують для футеровки подових печей?
  39. У яких випадках доцільно застосовувати подові агрегати?
  40. Яка будова мартенівської печі та які її основні вузли?



41. У чому полягає принцип регенерації тепла в мартенівській печі?
42. Які основні етапи мартенівського процесу?
43. Як здійснюється контроль температури і складу шлаку?
44. Які хімічні реакції протікають у мартенівській печі під час плавки сталі?
45. Які види палива застосовуються у мартенівських печах?
46. Яке призначення має природний газ і мазут у процесі виплавки сталі?
47. Як здійснюється підготовка та подача палива до печі?
48. Яку роль відіграють флюси у мартенівському процесі?
49. Як економічність використання палива впливає на собівартість сталі?
50. Які основні типи мартенівських процесів застосовуються у виробництві сталі?
51. У чому полягає відмінність між основним і кислим мартенівським процесом?
52. Які особливості має комбінований мартенівський процес?
53. Як склад шихти впливає на вибір типу мартенівського процесу?
54. Які чинники визначають тривалість мартенівської плавки?
55. Що собою являє двохванний сталеплавильний агрегат (ДСПА)?
56. Як організований процес плавки у двохванному агрегаті?
57. Які переваги має ДСПА порівняно з традиційними агрегатами?
58. Як забезпечується безперервність роботи ДСПА?
59. У яких видах виробництва доцільно застосовувати такі агрегати?
60. У чому полягає принцип електрOMETАЛУРГІЙНОГО способу виплавки сталі?
61. Які види електричних печей застосовуються для отримання сталі?
62. Які переваги електроплавильного способу перед конвертерним і мартенівським?
63. Які джерела енергії використовуються в електропечах?
64. У яких випадках застосовується електросталеплавильне виробництво?



### ТЕМА 3. ПОЗАПІЧНА ОБРОБКА

Сучасний етап розвитку металургійної промисловості характеризується перенесенням частини технологічних операцій із сталеплавильних агрегатів у допоміжні установки або спеціально обладнані ковші. Такий підхід забезпечує отримання металу високої якості та є економічно і технологічно вигідним для виробників і споживачів. У цьому випадку основне завдання плавильного агрегату полягає у виробленні рідкого напівпродукту заданого складу й температури.

Технологічні процеси, що виконуються поза основним плавильним агрегатом, отримали назву позапічної або вторинної металургії (також вживаються терміни ковшова металургія, ковшове рафінування, позаагрегатна обробка). Головна мета вторинної металургії полягає в тому, щоб здійснювати необхідні технологічні операції швидше та ефективніше, ніж у традиційних сталеплавильних агрегатах [13].


Зростання вимог до якості сталі й чавуну стало стимулом для створення нових сталеплавильних процесів, що відповідають сучасному рівню технічного розвитку. Одним із ключових елементів цих технологій є саме позапічна обробка, яка сьогодні посідає центральне місце у виробництві високоякісних сталей.

Активне впровадження позапічної металургії розпочалося у 1960-х роках. Первісно її застосовували для підвищення продуктивності дугових печей і конвертерів шляхом перенесення частини рафінувальних операцій (очищення металу від шкідливих домішок) у ківш.

Використання позапічної обробки дало змогу не лише значно поліпшити якість сталі — її механічні властивості, корозійну стійкість, електротехнічні параметри — але й отримувати матеріали з унікальними характеристиками, зокрема сталі з наднизьким вмістом вуглецю, сірки, азоту чи водню, придатні для експлуатації в екстремальних умовах.

Нині методи позапічної металургії застосовуються у масштабах сотень мільйонів тонн сталі масового виробництва, а установки для позапічної обробки є невід'ємним елементом більшості сучасних металургійних підприємств [13].

Позапічній обробці піддають метал, виплавлений у мартенівських, дугових електропечах і конвертерах. Широке впровадження технологій



позапічної (вторинної) металургії пояснюється низкою факторів, що зумовили її ефективність і доцільність у сучасному виробництві сталі.

1. Взаємозв'язок із безперервним розливанням сталі. Практика показала, що стабільна робота установок безперервного розливання можлива лише за умови використання сталі високої чистоти — насамперед із мінімальним вмістом сірки та сталими параметрами складу й температури від плавки до плавки. Позапічна обробка забезпечує досягнення таких показників.

2. Зв'язок із конвертерним виробництвом. Перехід конвертерних цехів на використання дешевого низькокремнистого та маломарганцевого чавуну (у межах малошлакової або безшлакової технології) ефективний лише тоді, коли отриманий метал додатково очищується поза агрегатом. Це рафінування виконується саме під час позапічної обробки.


3. Раціональне використання феросплавів. Завдяки позапічній металургії стає можливим застосування дешевших і менш дефіцитних феросплавів, наприклад високовуглецевих при виробництві низьковуглецевих сталей.

4. Можливість прямого легування. Позапічна обробка відкриває перспективи прямого легування сталі або навіть повної відмови від використання феросплавів. Це досягається шляхом введення природно-легованих руд, шлаків феросплавного виробництва чи відходів інших галузей (наприклад, абразивного виробництва).

5. Підвищення ефективності дугових печей. Використання позапічної металургії підвищує ефективність роботи дугових сталеплавильних агрегатів, дозволяючи повніше використовувати потужність електрообладнання (зокрема трансформаторів), забезпечуючи високу продуктивність праці та компактність цехів. Крім того, покращуються умови газоочистки та зменшуються шкідливі викиди.

6. Отримання нових марок сталі. Розвиток методів позапічної обробки сприяв створенню нових високоякісних сталей із наднизьким вмістом вуглецю (<0,01%), сірки (<0,002%) та газів. До таких належать IF-сталі (надміцні) й сучасні марки нержавіючих сталей.

7. Підвищення ефективності використання металу. Позапічна обробка покращує якість виплавленого металу, що безпосередньо впливає на надійність і довговічність виробів із нього.



8. Поліпшення якості металошихти. Можливості отримання сталі заданої чистоти відрізняються залежно від типу виробництва.

У конвертерному виробництві основою шихти є рідкий чавун, який майже не містить домішок кольорових металів, проте має підвищений вміст сірки та фосфору. Для їх видалення застосовуються ефективні методи позапічної обробки чавуну.

В електросталеплавильному виробництві, де основна сировина — металобрухт, актуальним є попереднє очищення шихти від домішок кольорових металів (цинк, свинець, кадмій тощо), що реалізується в межах комплексних технологій позапічної обробки.

Отже, сучасна позапічна металургія не лише підвищує якість і чистоту сталі, а й сприяє економії енергії, сировини, феросплавів та рафінувальних матеріалів, забезпечуючи розвиток нових технологій виробництва високоякісних сталей.

Сучасні технології виробництва сталі високої якості базуються на застосуванні одного або кількох технологічних методів, серед яких [13]:


- а) вакуумна обробка металу;
- б) продування металу інертними газами;
- в) комбінована дія вакууму та інертних газів;
- г) поєднання вакуумної обробки з продуванням киснем;
- д) одночасна обробка інертними газами і киснем;
- е) використання твердих шлакових сумішей;
- ж) обробка рідкими шлаками;
- з) поєднання впливу рідких синтетичних шлаків та інертних газів;
- і) комплексна дія вакууму, кисню, інертних газів і шлакових сумішей;
- к) вдування порошкоподібних реагентів у розплавлений метал;
- л) введення реагентів у вигляді композитних блоків, дроту тощо.

Сукупність існуючих методів позапічної обробки сталі дає змогу вирішувати низку ключових завдань сталеплавильного виробництва:

1. Значно підвищити чистоту металу, підготувавши його до кристалізації шляхом глибокого очищення від шкідливих домішок, мікролегування, модифікування неметалевих включень, точного регулювання хімічного складу та вирівнювання температури розплаву.

2. Збільшити продуктивність основних сталеплавильних агрегатів.

3. Забезпечити більшу технологічну гнучкість і оперативність у проведенні виробничих операцій.



Завдяки цим перевагам методи позапічної обробки стали невід'ємною частиною сучасної металургії. Сьогодні практично вся сталь, що виплавляється у світі, проходить одну чи кілька стадій такої обробки.

### 3.1 Технології рафінування чавуну

Ще 15–20 років тому обробка чавуну обмежувалася переважно його десульфуріацією, метою якої було зниження вмісту сірки до допустимого рівня під час порушення нормального ходу доменної плавки. Проте за останні два десятиліття масштаби та принципи позадоменної обробки чавуну суттєво змінилися. Це зумовлено, з одного боку, вдосконаленням технології доменного виробництва, а з іншого — зростанням вимог споживачів до якості сталі та розвитком «безшлакових» і «малошлакових» конвертерних технологій. У таких процесах продувка в конвертерах виконує переважно функції зневуглицьовування розплаву та доведення його температури до заданих параметрів [14].


Позадоменна обробка чавуну забезпечує значний економічний ефект. Так, зниження вмісту сірки з 0,03–0,05 до 0,005–0,01 % під час десульфуріації дозволяє:

1. скоротити витрати коксу на 25–50 кг на 1 т чавуну;
2. підвищити випуск продукції на 5–10 %;
3. зменшити витрати вапна в конвертерному виробництві на 30–50 кг/т сталі;
4. істотно покращити якість готового металу.

Нині мета попередньої обробки рідкого чавуну полягає у видаленні кремнію, фосфору та сірки. Існують технологічні схеми, які забезпечують одночасне очищення чавуну від усіх трьох елементів, але найбільш поширеною залишається десульфуріація.

Позадоменна дефосфорація чавуну. Фосфор у шихтових матеріалах доменного виробництва зазвичай міститься у вигляді п'ятиокису, сполученого з вапном або оксидами заліза. Під час плавки майже весь фосфор відновлюється й переходить у чавун, тому його низький вміст можна забезпечити лише використанням малофосфорної шихти [10].

Для дефосфорації застосовують реагенти, що містять вапно та залізо ( $\text{CaO}$ ,  $\text{FeO}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), а також соду ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ). Щоб уникнути теплових втрат, порошкоподібні реагенти вдувають у чавун разом із киснем. У зоні подачі



кисню фосфор окислюється активніше, тоді як у віддалених ділянках переважає реакція окиснення вуглецю, якщо подача кисню недостатня.

При продувці содою за наявності кремнію у чавуні відбувається переважно окиснення кремнію, тому концентрація фосфору практично не змінюється. Сода виконує функції не лише десульфуратора й дефосфоратора, а й десиліконізатора — перші її порції витрачаються саме на видалення кремнію. Після попереднього знекремнення ефективність дефосфорації істотно зростає, при цьому одночасно зменшується вміст сірки, а концентрація марганцю й ванадію залишається стабільною [10].

Оскільки використання соди потребує ефективного очищення газів від пилу, сучасна практика дефосфорації базується на застосуванні матеріалів із вмістом вапна, іноді з додаванням соди. У більшості випадків позадоменна обробка чавуну здійснюється у спеціальних ковшах міксерного типу, що забезпечують ефективність і стабільність процесу.

Суттєве зниження теплових втрат під час обробки чавуну забезпечується спеціальною установкою (рис.3.1), до складу якої входить ківш (1) з теплоізолюючою кришкою (2). Завдяки особливій конструкції ця кришка не лише мінімізує тепловіддачу, але й запобігає контакту футеровки ковша з активним шлаком (рисунок). Через конвеєр (3) та живильник (4) у ківш зверху подаються шматки соди й окалини з бункерів (5) і (6) відповідно [10].

Для досягнення глибокої дефосфорації використовується пневмонагнітач (7) із завантажувальним бункером (8), який подає порошкоподібні реагенти (соду й окалину) у струмені азоту. Установка обладнана зонами для відбору проб і вимірювання температури (9), механізмами підйому продувної фурми та зонда (10), фурмою для подачі кисню (11), фурмою для вдування порошків (12) та зондами для уловлювання пилу (13). При цьому з футеровкою ковша контактує лише метал (14), тоді як шлак (15) залишається ізольованим.

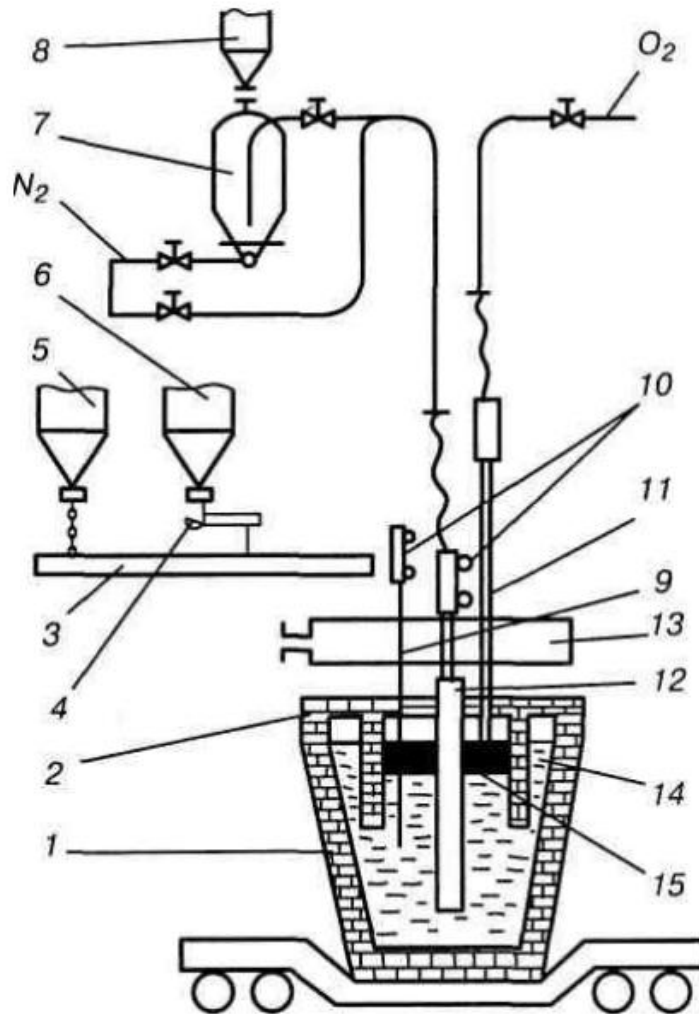



Рисунок 3.1 – Схема установки для проведення дефосфорації чавуну содою із вдуванням і без вдування порошку [10]: 1 – ківш, 2 – кришка, 3 – конвеєр, 4 – живильник, 5 – бункер з содою, 6 – бункер з окалиною, 7 – пневмонагнітач, 8 – завантажувальний бункер для вдування соди та окалини з азотом, 9 - зона для відбирання проб і вимірювання температури, 10 - механізми підйому продувної фурми і зонда, 11 - фурма для введення кисню, 12 - фурма для вдування порошків, 13 - зонт для уловлювання пилу, 14 – метал, 15 – шлак

Десиліконізація чавуну. Операція попереднього знекремнення чавуну — десиліконізація — має важливе технологічне значення. Вона дозволяє ефективніше використовувати реагенти для подальшої дефосфорації та



десульфуратії, а також забезпечує можливість вести плавку в конвертері з мінімальною кількістю шлаку.

Процес отримання та використання знекремненого чавуну відомий як малошлаковий або безшлаковий. Його впровадження дає змогу:

- зменшити кількість шлаку в конвертері до 2–4 % маси металу (замість 10–15 %);
- скоротити витрати вапна, плавикового шпату й феросплавів;
- знизити зношування футеровки;
- мінімізувати втрати заліза у шлаку;
- підвищити вихід придатної сталі та продуктивність агрегатів.

Використання таких технологій також дозволило здійснювати пряме легування сталі, додаючи до конвертера марганцеву руду. При цьому, за рахунок низького вмісту флюсів, ступінь відновлення марганцю з оксидів збільшується більш ніж удвічі.

Разом із тим, знекремнений чавун має і певний недолік. Попри незначне підвищення його температури під час обробки та зменшення тепловтрат, кількість надлишкового тепла, необхідного для переробки металобрухту в конвертері, зменшується. Якщо ж існують інші споживачі скрапу (наприклад, електропечі), ситуацію розглядають у комплексі, враховуючи можливість отримання в конвертерних цехах високоякісної сталі, очищеної не лише від сірки та фосфору, а й від домішок кольорових металів.

Встановлено, що ефективність рафінування чавуну вапном і содою істотно підвищується лише після видалення кремнію. Для цього зазвичай застосовують обробку чавуну оксидами заліза — рудою, агломератом або окалиною.

Основна складність десиліконізації полягає в необхідності окиснення кремнію без окиснення вуглецю. У разі порушення цього балансу процес фактично перетворюється на сталеплавильний: температура різко підвищується, інтенсивно виділяється оксид вуглецю та пил, що може спричинити викиди розплаву за межі ковша.

Десульфуратія чавуну. Зменшення вмісту сірки в чавуні на випуску з доменної печі досягають кількома способами: зменшенням витрат коксу, застосуванням флюсованої шихти, багатої на залізо, використанням природного газу та високотемпературного дуття, зниженням сірки у коксі та видаленням її з руд при окускуванні.



Основними умовами ефективної десульфурації є:

- висока температура розплаву,
- висока основність шлаку,
- низька окисленість шлаку.

У якості реагентів-десульфураторів застосовують магній, кальційвмісні матеріали, соду та марганець. Ефективність реагентів зростає у такій послідовності: сода → карбід кальцію → вапно → магній.

Високий ступінь засвоєння магнію забезпечується різними технологіями:

1. Вдування гранульованого магнію у струмені природного газу.
2. Подавання вглиб металу суміші магнію та кальційвмісних матеріалів у струмені азоту або повітря.
3. Вдування пасивованого гранульованого магнію (з солями NaCl, CaCl<sub>2</sub>, MgCl<sub>2</sub>, KCl) у струмені азоту або повітря.
4. Введення порошкового дроту, який містить суміш магнію та інших компонентів.
5. Використання магнококсу — шматків коксу, насичених магнієм.

До кальційвмісних реагентів відносять вапно, вапняк, карбід кальцію та їх суміші. При введенні тугоплавких матеріалів (вапна, карбиду кальцію та їх сумішей) потрібні спеціальні заходи щодо їх перемішування. Використання соди як десульфуратору вимагає встановлення спеціальних газоуловлюючих та газоочисних систем.

На рис. 3.2 представлено схему установки для десульфурації чавуну, розташованої на шляху рідкого чавуну від доменної печі до сталеплавильного цеху.

У ківш із рідким чавуном опускають ротор-мішалку. Над ковшом встановлюють ковпак для уловлювання пилу з пристроєм для подачі десульфураторів і відведення газів. Перемішування металу з реагентом досягається обертанням ротора та пропусканням через нього інертного газу (зазвичай азоту), що створює ефект кипіння. Використовуючи суміш обпаленого вапна (90%), плавикового шпату (5%) та нафтового коксу (5%), вміст сірки в чавуні знижується з 0,030–0,035% до ~0,003%.

Десульфурація магнієм не створює шкідливих для навколишнього середовища продуктів, що робить його популярним, незважаючи на високу вартість. Підвищення ефективності використання магнію забезпечується різними технологічними методами [14]:

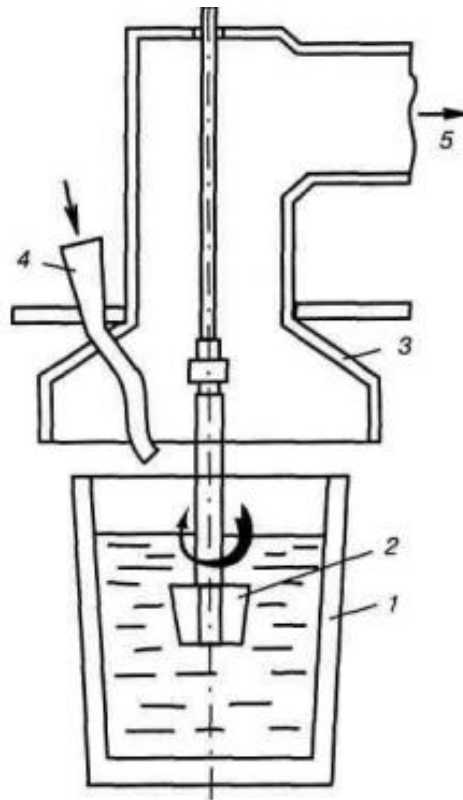


Рисунок 3.2 – Схема установки для десульфурзації чавуну [10]:  
1 – ківш, 2 – ротор-мішалка, 3 – ковпак для пиловловлювання, 4 – пристрій для подачі десульфураторів; 5 – відведення газів

1. Введення магнококсу — шматків коксу, насичених магнієм.
2. Вдування суміші магнію з кальційвмісними матеріалами вглиб металу.
3. Вдування порошку з гранул магнію, вкритих солями ( $\text{NaCl}$ ,  $\text{CaCl}_2$ ,  $\text{MgCl}_2$ ,  $\text{KCl}$ ).
4. Введення гранульованого магнію в струмені природного газу.
5. Введення дроту з порошкоподібним магнієм та іншими компонентами.

Докладніше про варіанти:

1. Магнококс: Пористий кокс (понад 90% пористості) після заповнення магнієм утворює міцний каркас, що повільно розчиняється, запобігаючи вируванню чавуну та викидам. Пористі поверхні каркаса слугують центрами зародження  $\text{MgS}$ , забезпечуючи спокійну десульфуріацію. Магнококс вводять у ківш міксерного типу на глибину

близько  $2/3$  висоти. Для протидії виштовхуванню з чавуну механізм опускання має сталевий баласт на валу з графітним стрижнем. Цей метод не набув широкого поширення через громіздкість і складність обладнання (рис. 3.3).

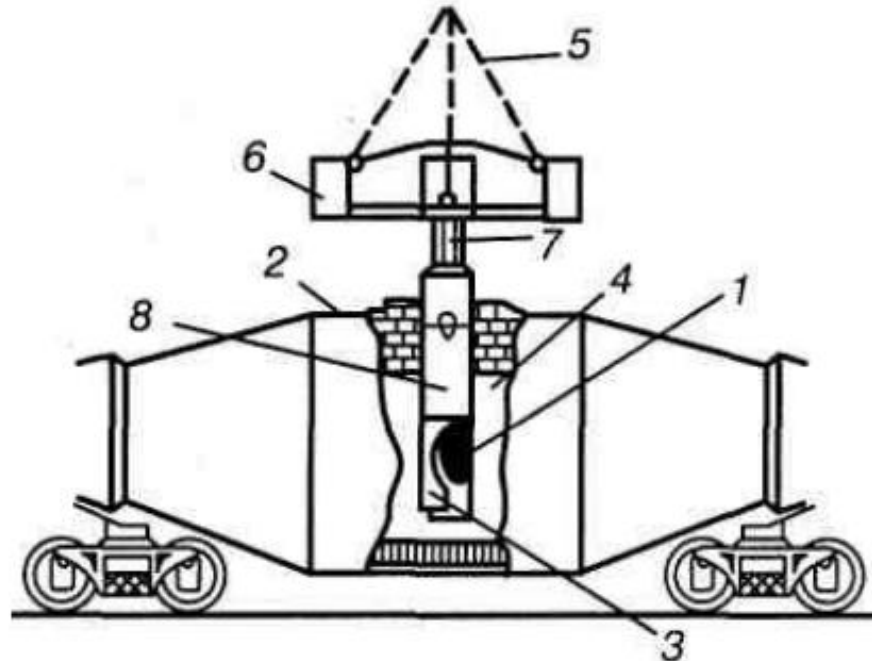


Рисунок 3.3 – Схема установки для десульфурації чавуну магнієвим коксом [14]: 1 – магнококс, 2 – ківш, 3 – графітний ковпак, 4 – чавун, 5 – механізм опускання, 6 – баласт, 7 – сталевий вал, 8 – графітовий стрижень

2. Суміш магнію з кальційвмісними матеріалами: Найпоширеніший і дешевий спосіб; частка магнію в суміші до 50%.

3. Гранульований порошок магнію: Сучасна тенденція — використання гранул магнію ( $90\pm 2\%$  Mg) розміром 0,3–3 мм, вкритих хлоридами для безпечного зберігання, транспортування і подачі, при цьому зберігається висока реакційна здатність у рідкому чавуні.

4. Вдування магнію з газом-носієм: Використання повітря або азоту має недолік, бо ці гази реагують з магнієм. Як більш безпечний і доступний газ застосовують природний газ (метан), який широко використовується на металургійних підприємствах [10].

### 3.2 Сучасні способи видалення з чавуну кремнію, фосфору і сірки

Сучасний етап вдосконалення технологій рафінування чавуну передбачає одночасне поєднання дефосфорації, десиліконізації та десульфурзації, причому провідними в цій сфері є японські підприємства.

Одним із перших прогресивних рішень став процес ТІМ (рис. 3.4), який передбачає вдосконалення подачі активних реагентів через інжекційні фурми в потоці кисню. Технологічну схему ТІМ вперше реалізували на заводі Sumitomo Metal у Kasime. Вона дозволяє досягти ступеня десиліконізації близько 65 % та дефосфорації – 60 %. Для видалення кремнію застосовують суміш порошоків залізної руди та вапна, для фосфору – порошок окалини, вапна й плавикового шпату.



Рисунок 3.4 – Схематичне зображення технології ТІМ-процесу

Недоліками процесу ТІМ є обмежена швидкість рафінування через малу площу контакту реагентів із розплавом, високі тепловтрати та неможливість отримати наднизькі концентрації домішок. Крім того, при використанні дешевого коксу з високим вмістом сірки виникає потреба одночасного видалення і сірки, що стимулювало розвиток технологій комплексного видалення кремнію, сірки й фосфору.

Наступним етапом став процес SARP (рис. 3.5), розроблений на заводі Kashima Steel Works корпорації Sumitomo Metal для підвищення продуктивності комплексного рафінування. Він передбачає двоетапну

десиліконізацію: первинну на жолобі доменної печі та остаточну – у ковші міксерного типу. Одночасно в ковші здійснюється видалення сірки та фосфору.

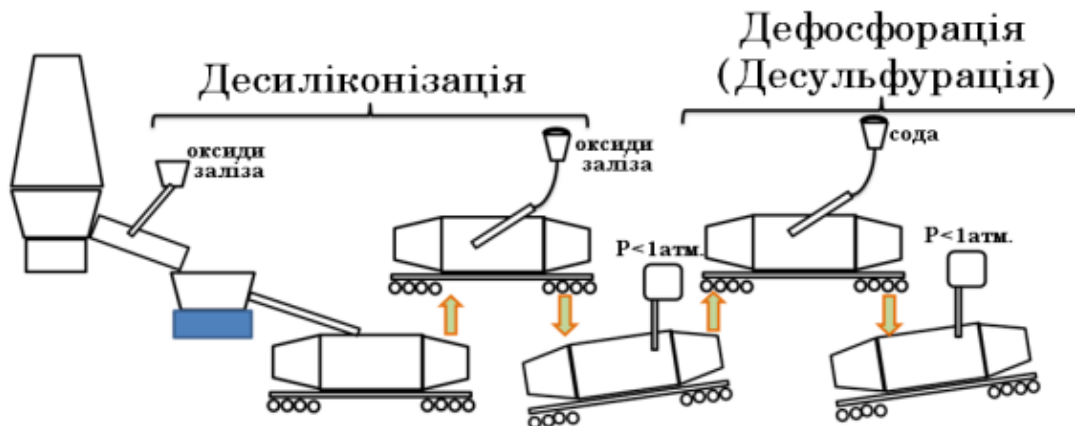


Рисунок 3.5 – Схематичне зображення технології SARP-процесу

Первинна десиліконізація здійснюється введенням матеріалів, що містять оксиди заліза, через бункери та живильники. Остаточне видалення кремнію виконується інжекцією відсіву агломерату у ковші міксерного типу, забезпечуючи сумарний коефіцієнт десиліконізації 87,5 %. Дефосфорація та десульфурація проводяться методом моноінжекції соди ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) у струмені азоту, досягаючи ступеня десульфурації 96 % і дефосфорації 97 %. Шлаки, що містять  $\text{Na}_2\text{O}$ , видаляються після закінчення процесу позапічної обробки.

Через високий вплив реагентів на довкілля технології вдосконалюють із застосуванням агрегатів спеціальної конструкції з обмеженим робочим простором та ефективною системою газоочистки. За цією концепцією на заводі Kobe Works корпорації Kobe Steel було реалізовано процес OLIPS (рис. 3.6), який дозволяє комплексно видаляти сірку та фосфор за допомогою спеціально сконструйованого агрегату.

У цій технології десиліконізація проводиться у стаціонарному міксері шляхом інжекції флюсу на основі закису заліза в струм кисню. Після завершення цієї операції шлаки з міксера видаляють. Потім чавун із низьким вмістом кремнію подається на агрегат спеціальної конструкції.

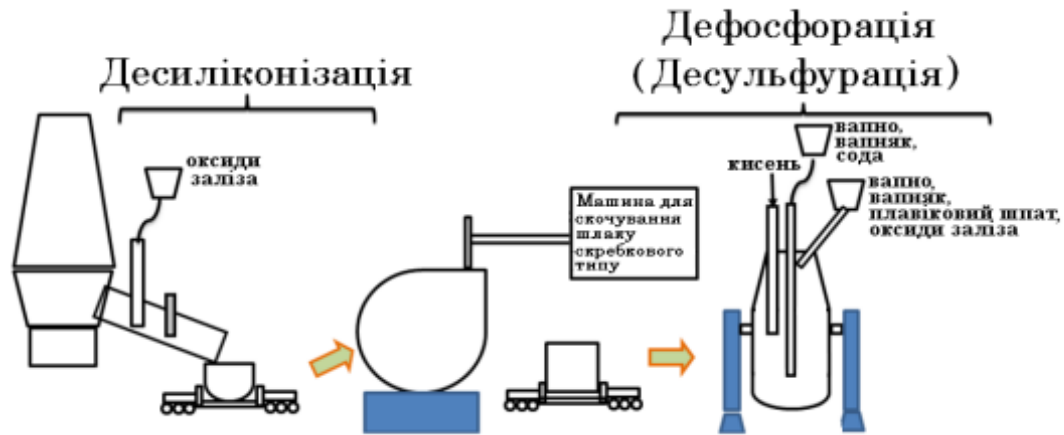


Рисунок 3.6 – Схематичне зображення технологічного ланцюжка OLIPS-процесу

У цьому агрегаті виконуються процеси дефосфорації та десульфурації. На першій стадії дефосфорація здійснюється шляхом подачі на поверхню розплаву суміші, що містить вапно, залізну руду та плавиковий шпат, при цьому поверхню розплаву обдувають киснем через додаткову фурму. Наступним етапом є десульфурація, яка проводиться інжекцією соди та вапна у струмі азоту без обдування поверхні розплаву киснем. Ступінь дефосфорації досягає 62,5 %, а десульфурації – 60 %.

Для підвищення ефективності рафінування чавуну технологію було вдосконалено співробітниками корпорації Sumitomo Metal: замість спеціального реактора для дефосфорації й десульфурації застосовується ківш міксерного типу. Промислову реалізацію цієї модифікації впроваджено на заводі Kimizu Works у Вакаямі (рис. 3.7).

У цій технології десиліконізація проводиться шляхом продувки чавуну порошкоподібною сумішшю реагентів (залізна руда, вапно, окалина, агломерат) у струмі повітря. Видалення кремнію відбувається на етапі переливу чавуну безпосередньо на жолобі доменної печі. Шлаки з високим вмістом  $\text{SiO}_2$  видаляють під час наповнення ковшів міксерного типу, що дозволяє досягти ступеня десиліконізації близько 87,5 %. Одночасна дефосфорація та десульфурація реалізується інжекцією соди ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) у струмі повітря, при цьому ступінь видалення сірки досягає 96 %, а фосфору – 87,5 %.

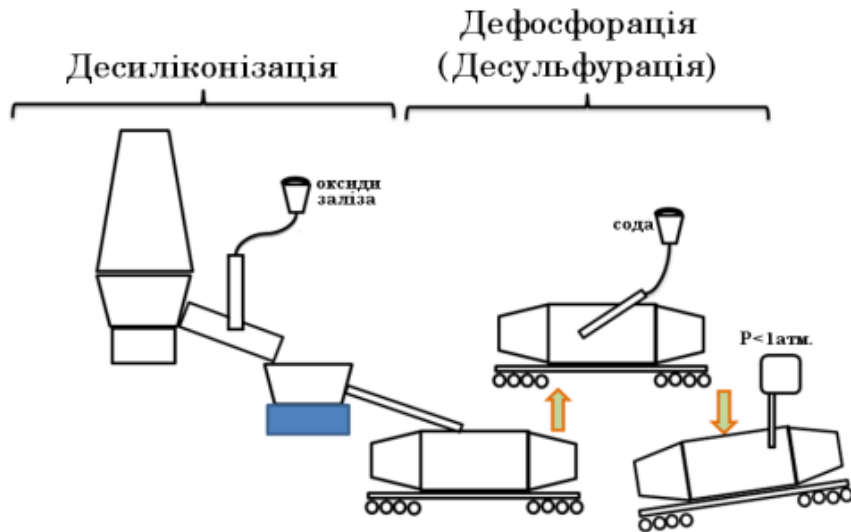


Рисунок 3.7 – Схематичне зображення технології комплексного рафінування чавуну на заводі "Kimizu Works" у Вакаямі

Через значні тепловтрати та утворення шлаків з оксидами натрію технологія потребує додаткових заходів для їхньої утилізації. Рафінування чавуну організоване у дві стадії: 1) десиліконізація; 2) спільне видалення сірки та фосфору. Кремній видаляють на жолобі доменної печі під час зливу чавуну в ківш міксерного типу, завдяки подачі флюсу з оксидами заліза, що забезпечує близько 50 % ступеня десиліконізації. Остаточні шлаки видаляють при переливі чавуну в ківш. Дефосфорація проводиться за допомогою конвертерних шлаків з високою окисленістю, які вводять на поверхню розплав, а десульфуріація – інжекцією порошкового вапна у струмі азоту. По завершенні обробки шлаки видаляють за допомогою вакуумної екстракції.

Оскільки ця технологія не дозволяє знизити вміст кремнію до необхідного рівня, пізніше була розроблена схема комплексного рафінування, що передбачає десиліконізацію у ковші шляхом вдування оксидів заліза та поєднану десульфуріацію і дефосфорацію в заливному ковші. Ця схема реалізована корпорацією Nippon Steel на заводі Shin-Nippon Seitetsu у Кіміцу.

Зважаючи на шкідливий вплив  $\text{Na}_2\text{O}$  на довкілля, у Японії почали розробляти технології комплексного рафінування чавуну без використання

соди. Так, корпорацією Nippon Steel була створена технологія ORP (рис. 3.8), впроваджена на заводі Kimitsu Works.

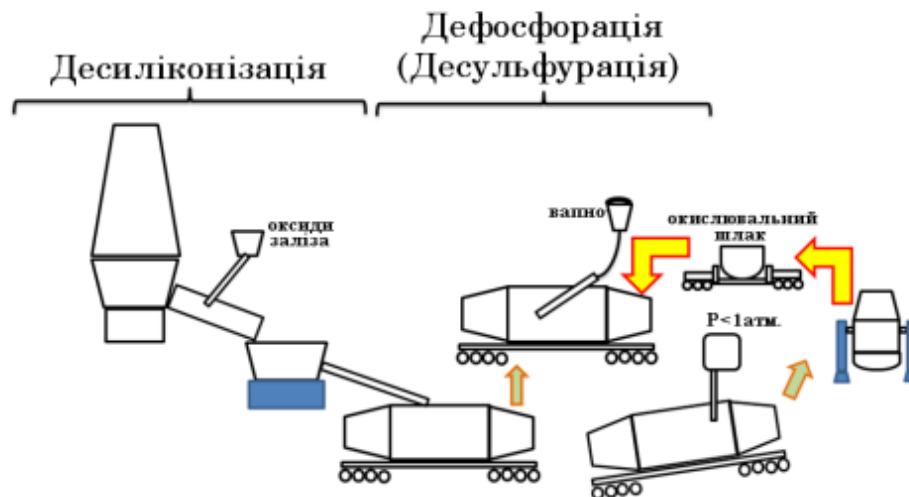


Рисунок 3.8 – Схематичне зображення технологічного ланцюжка ORP-процесу

Згідно з розробленою технологією, рафінування чавуну проводиться у дві стадії: 1) десиліконізація; 2) спільне видалення сірки та фосфору. Видалення кремнію здійснюється на жолобі доменної печі під час зливу чавуну в ківш міксерного типу за допомогою подачі на поверхню розплаву флюсу з оксидами заліза, що забезпечує ступінь десиліконізації близько 50 %. Кінцеві шлаки операції знекремнювання видаляють при переливі чавуну в ківш міксерного типу. Десульфурацію поєднують із дефосфорацією, яка виконується в ковші міксерного типу: для видалення фосфору використовують кінцеві конвертерні шлаки з високою окисленістю, а десульфурацію – інжекцією порошкового вапна у струмі азоту. Після завершення процесів рафінування шлаки видаляють за допомогою вакуумної екстракції.

Оскільки ця технологія не дозволяє знизити вміст кремнію до необхідного рівня, пізніше була розроблена схема комплексного рафінування, що передбачає десиліконізацію в ковші шляхом вдування оксидів заліза та поєднану десульфурацію й дефосфорацію в заливному ковші. Ця технологічна схема реалізована на заводі Shin-Nippon Seitetsu корпорації Nippon Steel у Кіміцу (рис. 3.9).

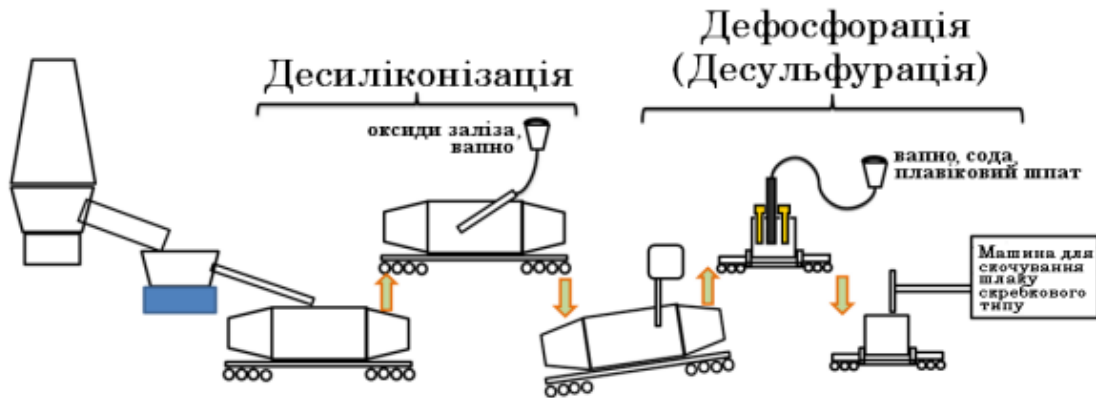


Рисунок 3.9 – Схематичне зображення технології комплексного рафінування чавуну на заводі Сін-Ніппон Сейтецу в Кіміцу

Десиліконізація у ковшах міксерного типу здійснюється інжекцією залізного піску у струмі азоту, що дозволяє досягти ступеня десиліконізації близько 70 %. Одночасне видалення сірки та фосфору відбувається в заливному ковші за рахунок інжекції вапна та окалини у струмі кисню. Процеси десульфурації та дефосфорації розділені за зонами завдяки спеціальній заглибній камері, розташованій на фурмі для інжекції реагентів: всередині камери протікає дефосфорація, за її межами – десульфурація. Ступінь дефосфорації становить 87,5 %, а десульфурації – 80 %.

Серед недоліків цієї схеми – нестабільність роботи реакційної камери протягом тривалого часу та необхідність складної системи аспірації для захисту цеху від неконтрольованих викидів.

Наступним етапом розвитку комплексного позапічного рафінування стало винесення десульфурації на окрему стадію. Це технічне рішення отримало назву NRP-процес (рис. 3.10) і було впроваджене на підприємстві Nippon Kokan, Fukuyama, корпорації Nippon Steel.

Процес NRP передбачає десиліконізацію чавуну шляхом інжекції залісної окалини у струмі повітря, що забезпечує видалення близько 50 % кремнію. Після завершення десиліконізації шлаки з високим вмістом  $\text{SiO}_2$  видаляють, при цьому ступінь десульфурації досягає 80 %. Дефосфорація виконується окремо в чавуновозному ковші шляхом інжекції окалини у струмі азоту, при цьому поверхню розплаву обдувають киснем через додаткову фурму, що забезпечує ступінь дефосфорації на рівні 65 %.

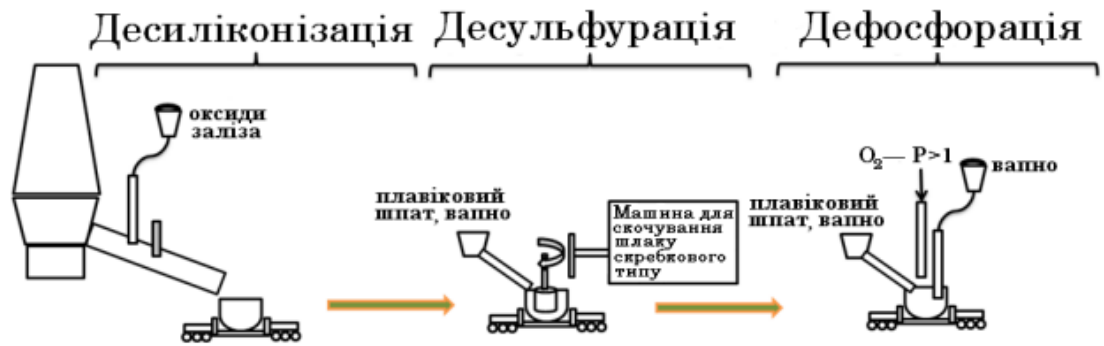


Рисунок 3.10 – Схематичне зображення технології NRP-процесу

Процес NRP передбачає десиліконізацію чавуну шляхом інжекції залізної окалини у струмі повітря, що забезпечує видалення близько 50 % кремнію. Після завершення десиліконізації шлаки з високим вмістом  $\text{SiO}_2$  видаляють, при цьому ступінь десульфурізації досягає 80 %. Дефосфоруація виконується окремо в чавуновозному ковші шляхом інжекції окалини у струмі азоту, при цьому поверхню розплаву обдувають киснем через додаткову фурму, що забезпечує ступінь дефосфоруації на рівні 65 %.

Наступним етапом розвитку комплексного рафінування чавуну в Японії стало зменшення теплових втрат під час обробки. У результаті були розроблені та впроваджені дві технології: MURC корпорації Nippon Steel та "Технологія переділу чавунця в конвертері з кислотою футеровкою" корпорації Kobe Steel (рис. 3.11).

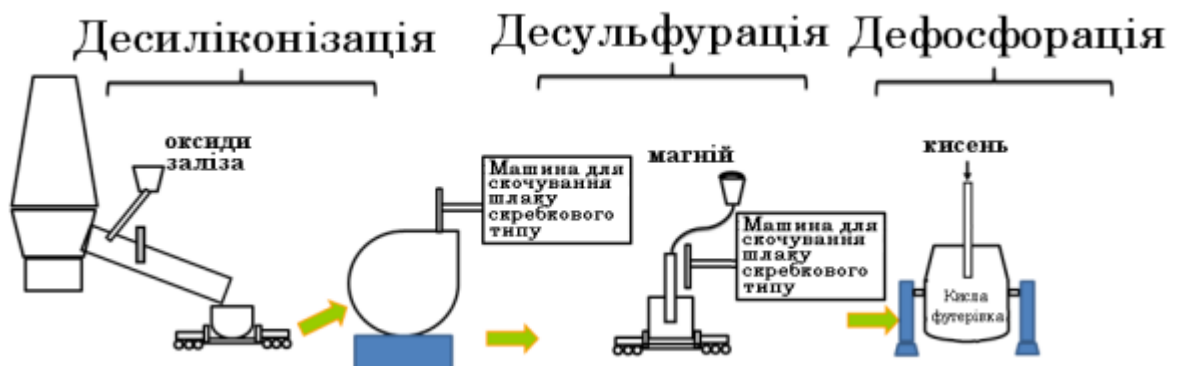


Рисунок 3.11 – Схематичне зображення технології "Процесу переділу чавунця в конвертері з кислотою футерівкою"

У процесі MURC (рис. 3.12) усі стадії рафінування виконуються в одному конвертері з наступним скачуванням шлаків. На першій стадії відбувається одночасне видалення кремнію та фосфору шляхом продувки чавуну киснем із мінімальною кількістю флюсів. Утворені шлаки видаляють, після чого проводять рафінування розплав від сірки. Технологія відрізняється значно нижчими тепловтратами завдяки проведенню всіх стадій у одному агрегаті і наразі вважається однією з найбільш ефективних для підготовки чавуну до виробництва сталі високих марок.

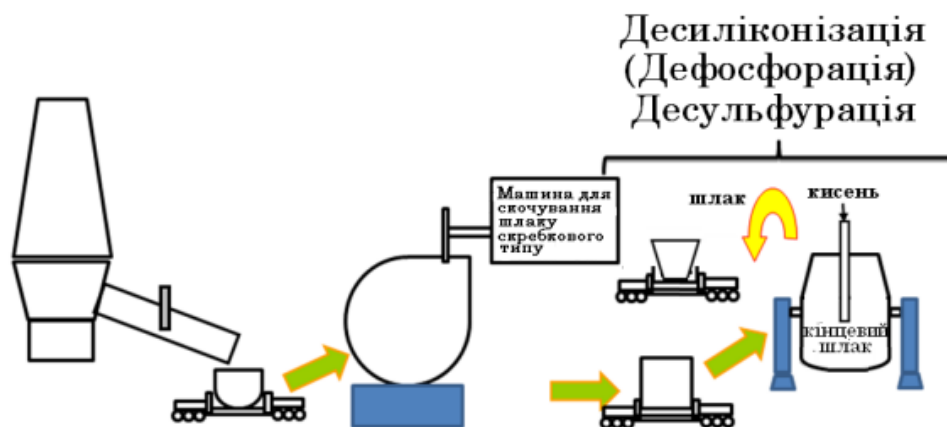



Рисунок 3.12 – Схематичне зображення технології MURC-процесу

Поєднання попередньої обробки рідкого чавуну, конвертерної плавки з комбінованою продувкою та наступної позапічної обробки сталі сформувало сучасний технологічний маршрут “домenna піч – установки позапічної обробки чавуну – конвертери комбінованої продувки – установки позапічної обробки сталі – машини безперервного лиття заготовок”, який домінує на підприємствах металургійної галузі.

### 3.3 Суть та методи розкислення сталі

Розкиснювання металів — це процес видалення з розплавлених металів (насамперед сталі та сплавів на основі заліза) розчиненого кисню, який є шкідливою домішкою, що погіршує механічні властивості металу. Розкиснювання є складовою частиною процесу рафінування металу. Під час цієї операції розчинений у металі кисень перетворюється на нерозчинну сполуку або виводиться з металу.



Вплив кисню на властивості сталі визначається його кількістю, складом і характером включень у металі, що твердне. Найшкідливішими для механічних властивостей є включення, які формуються під час кристалізації і розташовуються у вигляді плівок, ланцюжків або ниток навколо зерен металу. Менш небезпечні включення, які формуються у рідкому стані всередині зерен.

Підвищений вміст кисню спричиняє червоноламкість, прискорює старіння сталі та знижує її механічні характеристики. У рідкій сталі, отриманій наприкінці сталеплавильного процесу, кисень міститься у вигляді завислих окислів та розчиненого в металі кисню. Після твердіння сталі розчинений кисень виділяється, утворюючи включення окислів. Тому якість та чистота сталі безпосередньо залежать від мінімального вмісту кисню перед її кристалізацією — як завислого, так і розчиненого.

Вимоги щодо зменшення кількості завислого кисню стосуються всіх сортів сталі. Вміст розчиненого кисню під час кристалізації визначає характер виділення газів і повинен відповідати типу сталі: спокійна, напівспокійна або кипляча. Отже, для отримання високоякісного сталювого злитка необхідно точно регулювати розчинений кисень у рідкій сталі перед розливом.

На сьогодні не існує розкислювача, який би задовольняв усі вимоги одночасно. Тому сталь розкислюють послідовно декількома реагентами (спочатку слабшими, потім сильнішими) або комплексними розкислювачами, що містять кілька елементів. При правильному співвідношенні компонентів можна отримати легкоплавкі продукти розкислення, що сприяють очищенню металу від завислих часток.


Розкиснювання проводять у два етапи:

1. Попереднє розкислення у печі (феромарганець, феросиліцій, силікомарганець).
2. Остаточне розкислення у ковші (алюміній).

Перевага розкислення у ковші полягає у меншому угарі металу, скороченні часу плавлення, відсутності дефосфорації та мінімальному насиченні металу газами з атмосфери печі.

Існують різні ступені розкислення сталі:

- Кипляча сталь — характеризується неповним розкисленням. Під час розливання у виливниці метал «кипить» через інтенсивне виділення газу, тому така сталь найбільш газонасичена та неоднорідна.



Механічні властивості злитків можуть значно відрізнятись через нерівномірний розподіл хімічних елементів. Вміст кремнію в киплячій сталі зазвичай не перевищує 0,079 %. Кипляча сталь відзначається крихкістю, поганою зварюваністю та високою схильністю до корозії. Для поліпшення її властивостей сталь розкислюють кремнієм (0,12–0,325 %), алюмінієм (до 0,195 %) або марганцем; можливо також використання інших елементів, які активно реагують із киснем.

- **Спокійна сталь** — містить не менше 0,129–0,296 % кремнію, а кількість неметалічних включень і шлаків мінімальна. Злитки спокійної сталі мають щільну й однорідну структуру, що забезпечує високі механічні властивості, добру зварюваність та високу стійкість до ударних навантажень. Така сталь підходить для опорних конструкцій і елементів, які працюють під значними навантаженнями. Основні недоліки спокійної сталі — підвищена вартість через більшу витрату розкислювачів та складність виробництва, а також знижений вихід готового прокату (на 10–15 % менше, ніж у киплячих марок).


- **Напівспокійна сталь** — проміжна за властивостями, напіврозкислена. Кристалізується без кипіння, виділяючи меншу кількість газу і утворюючи менше бульбашок, ніж кипляча сталь. Напівспокійна сталь має середні показники якості, максимально наближені до спокійної, і часто застосовується як її заміна.

У сучасній металургії застосовують чотири основні способи розкислення:

1. **Осаджувальне розкислення** — введення в рідку сталь елементів, що утворюють стійкі оксиди. Частина розчиненого кисню переходить у склад оксидів, перетворюючи гомогенну систему (сталь із розчиненим киснем) у гетерогенну (сталь із завислими оксидами).

2. **Дифузійне розкислення** — контактування рідкого металу зі шлаковою фазою, у якій вміст FeO нижчий за рівноважний у взаємодії з киснем. В результаті кисень дифундує з металу в шлак до настання рівноваги, що знижує його концентрацію в сталі.

3. **Розкислення шлаками** — перед випуском плавки в сталерозливний ківш додають спеціально підготовлений шлак із високою здатністю поглинати кисень, сірку та включення. Метал з печі падає у ківш з висоти, дроблячи шлак на дрібні краплі, що різко збільшує контактну поверхню і забезпечує швидке поглинання шлаком небажаних компонентів.



4. Розкислення у вакуумі — у вакуумі вуглець активніше реагує з киснем, що дозволяє зменшити вміст розчиненого кисню без утворення неметалічних продуктів. Одночасно спрощується десульфуратія сталі. Під час вакуумування можна видалити до 50 % початкового кисню, 60–70 % водню та частково азот.

Розкислення є обов'язковим етапом для отримання високоякісної сталі або сплавів, які відповідають заданим стандартам міцності та надійності

### **3.4 Феросплави**

Феросплави — це сплави заліза з різними хімічними елементами, які застосовуються для розкислення та легування сталі, виготовлення певних видів чавунів, високолегованих сплавів і матеріалів спеціального призначення.

Історично виробництво феросплавів проходило два етапи: на початку ХІХ століття їх отримували з руд у доменних печах, а з розвитком електроенергетики на початку ХХ століття поширилося виробництво в електропечах. Сьогодні більшість феросплавів виготовляють у дугових електропечах, використовуючи відновники на основі вуглецю, кремнію та алюмінію.


В Україні феросплавна промисловість добре розвинена і за обсягами, і за сортаментом значною мірою задовольняє потреби металургійного комплексу, а частина продукції експортується на світовий ринок.

Феросплави є невід'ємною складовою металургії: вони складаються з заліза, поєднаного з іншими металами або неметалами для покращення фізичних та механічних властивостей матеріалів. Їхній склад і властивості можуть сильно варіюватися, що робить феросплави універсальними для різних промислових завдань. Так, феросплави з хромом широко застосовують для виробництва нержавіючої сталі з підвищеною корозійною стійкістю; у будівництві та машинобудуванні їх додають до сталі для поліпшення механічних характеристик. Вони також використовуються для виготовлення спеціальних матеріалів, наприклад магнітних сплавів для магнітів.

Сфера застосування феросплавів дуже широка, що робить їх важливою складовою багатьох промислових процесів. Назва феросплаву зазвичай відображає хімічні елементи, що входять до його складу.

Таблиця 3.1 – Маркування феросплавів

Елемент	Система маркування та позначення хімічних елементів		Елемент	Система маркування та позначення хімічних елементів	
	СНД	ІСО		СНД	ІСО
Нітроген (азот)	Н	N	Купрум (мідь)	Ку	Cu
Алюміній	А	Al	Молибден	Мо	Mo
Барій	Ба	Ba	Нікол	Ні	Ni
Бор	Б	B	Ніобій	Нб	Nb
Ванадій	Вд	V	Рідкоземельні елементи	РЗМ	
Вольфрам	В	W	Елементи ітрієвої групи	РЗМі	
Ферум (залізо)	Ф	Fe	Елементи церієвої групи	РЗМці	
Ітрій	І	Y	Тантал	Та	Ta
Кадмій	Кд	Cd	Титан	Ти	Ti
Кальцій	К	Ca	Карбон (вуглець)	В	C
Кобальт	Ко	Co	Фосфор	Р	P
Силіцій	С	Si	Хром	Х	Cr
Магній	Мг	Mg	Церій	Це	Ce
Манган	Мн	Mn	Цирконій	Цр	Z



Метали та неметали, що входять до складу феросплавів, умовно називають феросплавними елементами. До них належать Mn, Si, Cr, Ca, Al, Ba, Be, Co, Mg, Ti, V, W, Mo, Y, Nb, Se, Ta, Te, Zr, Ni, а також рідкісноземельні метали. У феросплавах також присутні елементи-домішки: S, P, Cu, Sn, Sb, Bi, O, H, N тощо.

Феросплави поділяють на дві основні групи:

1. Великотоннажні (великі) феросплави:

- Кремністі феросплави: феросиліцій усіх марок, кристалічний силіцій.
- Манганові феросплави: високо-, середньо- та низьковуглецевий фероманган, товарний і переробний силікоманган, металевий манган, азотований манган, манганові лігатури.
- Хромисті феросплави: високо-, середньо- та низьковуглецевий ферохром, товарний і переробний феросилікохром, металевий хром, азотований ферохром, складні лігатури.

Кремнієві та манганові сплави застосовують для розкислення та легування сталі, інші види — для легування попередньо розкисненої сталі.

2. Малотоннажні (малі) феросплави: До них належать одинадцять підгруп: феровольфрам, феромолібден, ферованадій; сплави лужноземельних металів (силікокальцій, силікобарій, силікомагній, силікостронцій, комплексні сплави); фероніобій та сплави систем Ni—Nb, Nb—Ta; феротитан і відповідні сплави; феробор і лігатури з бором; сплави з алюмінієм; сплави з рідкісноземельними металами; феросилікоцирконій, фероалюміноцирконій; феронікель і ферокобальт. Малотоннажні феросплави використовують виключно для легування сталі.

Головні компоненти феросплавів називають ведучими елементами. Ефективність виробництва феросплавів визначається ступенем відновлення ведучого елемента та його переходу в метал. Для порівняння показників продуктивності застосовують поняття «базова тонна» — 1 т сплаву або сировини з визначеним вмістом ведучого елемента.

Більшість феросплавів містить значну кількість заліза, що знижує температуру плавлення, активність ведучих елементів і підвищує щільність сплавів, а також полегшує процес розкислення та легування сталі. Часто залізо спеціально додають у шихту у вигляді стружки або оксидів, що дозволяє знизити витрати дорогих елементів.



До феросплавів відносяться також:

- Лігатура — комплексний сплав, що має нижчу температуру плавлення, швидко розчиняється у сталі та зменшує втрати легуючих елементів.
- Модифікатор — речовина, яка навіть у невеликій кількості змінює структуру та властивості металу або сплаву, подрібнює кристалічну структуру і впливає на формування центрів кристалізації.

Феросплави вводять у рідкий метал шляхом завантаження твердих шматків із бункерів або мульд на поверхню розплаву. Для підвищення ефективності легування та розкислення важливо забезпечити інтенсивний теплообмін між феросплавом і металом і мінімізувати контакт із атмосферою та шлаком.

### 3.5 Легування сталі

Легування в металургії — це процес додавання до металевих сплавів спеціальних елементів, які забезпечують отримання сплавів із заданим хімічним складом, структурою та необхідними фізичними, хімічними і механічними властивостями.

Легованими називають сталі, що крім заліза, вуглецю та технологічних домішок, містять спеціальні легуючі елементи. Їх вводять для надання сталі або покращення окремих фізичних, механічних, хімічних чи технологічних характеристик. Сталь може містити один або кілька таких елементів, які частково розчиняються в основних фазах (ферит, аустеніт, цементит) або утворюють спеціальні карбіди.

Легуючі елементи підвищують собівартість сталі, тому їх використання повинно бути економічно виправданим. Найбільш часто застосовуються: хром, марганець, нікель, кремній, вольфрам, молібден, ванадій, титан, мідь, кобальт, алюміній, бор, ніобій, цирконій та інші. Проте у виробництві на практиці використовують переважно кілька з цих елементів.

Домішками називають хімічні елементи, що потрапили до складу сталі під час виробництва як технологічні добавки або як частина шихтових матеріалів. Зазвичай їх вміст обмежується такими межами:  $Mn \leq 0,8\%$ ;  $Si \leq 0,4\%$ ;  $Cr \leq 0,3\%$ ;  $Ni \leq 0,3\%$ ;  $Cu \leq 0,3\%$ ;  $Mo \leq 0,1\%$ ;  $W \leq 0,2\%$ ;  $P \leq 0,025-0,040\%$ ;  $S \leq 0,015-0,050\%$ . Одні й ті ж елементи можуть

одночасно виступати і як домішки, і як легуючі добавки — віднесення до певної групи визначається їх кількістю та функцією в сталі.

Таблиця 3.2 – Основні легуючі домішки для виробництва легованих марок сталей [15]


Елемент	Хімічне позначення	Маркування в сталях	Особливості застосування
Хром	Cr	Х	Розширення температурного інтервалу затвердіння, збільшення міцність і твердість без зміни показників пластичності, підвищення антикорозійних властивостей, >12% здатний зробити сталь нержавіючою
Кремній	Si	С	Основний розкислювач сталі, збільшує міцність, пластичність, кислотостійкість
Нікель	Ni	Н	Підвищує твердість та міцність, покращує корозійну стійкість, жароміцність та зварюваність
Марганець	Mn	Г	Основний розкислювач сталі, збільшує твердість, міцність стійкість до атмосферних впливів, знижує пластичність
Вольфрам	W	В	Збільшує твердість, зносостійкість, підвищує межі міцності і твердості, зменшує пластичність
Ванадій	V	Ф	Дає дрібнозернисту структуру, збільшує твердість, міцність, жаростійкість
Кобальт	Co	К	Підвищення корозійної стійкості, магнітні властивості
Молібден	Mo	М	Значно підвищує показники твердості, міцності й прожарюваності, підвищення корозійної стійкості

Титан	Ti	Т	Дає дрібнозернисту структуру, збільшує міцність, не впливає на пластичність
Ніобій	Nb	Б	Різко підвищує міцність, твердість
Алюміній	Al	Ю	Підвищення корозійної стійкості, мінімізує процеси старіння, підвищує пластичність, зв'язує кисень
Мідь	Cu	Д	Підвищення корозійної стійкості, краща здатність до гартування, збільшує пластичність
Цирконій			Дає дрібнозернисту структуру, збільшує жаростійкість
Фосфор	P	П	Покращує антикорозійні властивості і оброблюваність. В кількості більше 0,03% провокує хладоламкість.
Бор	B	Р	Збільшує здатність до загартування. Є кращою альтернативою для заміни дорогого молібдену і нікелю.
Рідко-земельні метали (РЗМ)	Ce (церій), La (Лантан) та ін.	Ч	Одночасно виступають дегазатором і десульфураторами, покращують вологотекучість, зварюваність і гнучкість.

Класифікація та маркування легованих сталей.

За ступенем легування (вміст легуючих елементів):

- Низьколеговані сталі – містять 2,5–5 % легуючих елементів.
- Середньолеговані сталі – до 10 %. Властивості таких сталей щодо міцності та зносостійкості залежать від їх хімічного складу, стану постачання та характеру термічної обробки.
- Високолеговані сталі – понад 10 %. Великий вміст легуючих елементів необхідний для надання виробам специфічних властивостей для роботи в особливих умовах. Прикладами є нержавіючі сталі для



агресивних середовищ або швидкорізальні сталі для інструментів (фрези, різці, свердла) для механічної обробки металів.

За кількістю легуючих елементів:

- Трьохкомпонентні – залізо, вуглець та один легуючий елемент.
- Чотирьохкомпонентні – залізо, вуглець та два легуючі елементи, і так далі.

За призначенням:


- Конструкційні сталі – використовуються для будівельних металоконструкцій, деталей механізмів, пристроїв і приладів. Багато з них зберігають міцність у високих температурах, мало чутливі до концентрації напруг і мають інші спеціальні властивості.
- Інструментальні сталі – переважно середньо- та високолеговані, з підвищеним вмістом хрому, марганцю, кремнію, вольфраму, молібдену та інших елементів. Використовуються для виробництва свердел, фрез, мітчиків, лабораторного, вимірювального та ріжучого інструменту, а також ударно-штампового оснащення.
- Сталі і сплави з особливими властивостями – спеціалізовані матеріали для вузької сфери застосування, для яких висувають підвищені вимоги до експлуатаційних характеристик.

Маркування легованих сталей здійснюється за державною системою літерно-цифровими позначеннями, що орієнтовно відображають хімічний склад. Цифри після літер показують приблизний вміст легуючого елемента: менше 1 % – цифру не вказують; близько 1 % – цифра 1; близько 2 % – цифра 2 і так далі. Для конструкційних якісних сталей цифри перед першою літерою позначають середній вміст вуглецю у сотих частках відсотка, а для високовуглецевих інструментальних сталей – у десятих частках відсотка.

### **3.6 Рафінування сталі**

Рафінування сталі — це процес очищення металу від шкідливих домішок, який спрямований на покращення його якісних характеристик.

Рафінування може виконуватися безпосередньо в сталеплавильних агрегатах або поза ними. Проведення очищення у плавильному агрегаті подовжує тривалість плавки, знижує продуктивність і підвищує собівартість сталі. Тому дедалі ширше застосовується позаагрегатне рафінування, що здійснюється в спеціальному обладнанні — ковшах, печах тощо —



безпосередньо після випуску сталі з агрегату, часто у поєднанні з іншими технологічними операціями.

Виділяють три основні методи рафінування:

1. Пірометалургійний,
2. Електролітичний,
3. Хімічний.

Усі методи ґрунтуються на різниці фізико-хімічних властивостей елементів — температур плавлення, щільності, електронегативності тощо. Для досягнення високого ступеня чистоти металу часто послідовно застосовують кілька способів.

Пірометалургійне рафінування. Виконується при високих температурах у розплавах і має декілька різновидів:

- Окислювальне рафінування базується на здатності домішок (Fe, Ni, Zn, Pb, Sb, As, Sn) активніше реагувати з киснем, ніж основний метал. Наприклад, під час продування міді повітрям ці елементи утворюють оксиди, які спливають на поверхню розплаву і видаляються.


- Ліквацийне розділення використовує відмінності у щільності та температурах плавлення компонентів сплаву. Так, при охолодженні чорного свинцю з нього виділяються легші кристали міді, що спливають і видаляються.

- Фракційна перекристалізація ґрунтується на різній розчинності домішок у твердому та рідкому стані металу. Цей метод застосовують у виробництві надчистих металів і напівпровідників (зонна плавка, направлена кристалізація тощо).

- Ректифікація (дистиляція) базується на різниці температур кипіння металів і використовується для очищення, наприклад, цинку від кадмію або свинцю від цинку. Застосування вакууму прискорює процес.

- Фільтраційне очищення передбачає пропускання розплаву через керамічні фільтри (наприклад, у виробництві олова) для вилучення твердих домішок.

У ковшовому рафінуванні сталі використовують рідкі синтетичні шлаки, що забезпечують ефективне перемішування металу і шлаку. Це сприяє інтенсивному видаленню сірки, фосфору, неметалевих включень та оксидів. Продування розплаву інертними газами допомагає підняти залишки шлаку й оксидів на поверхню.



Електролітичне рафінування. Цей метод полягає у проведенні електролізу розчинів або сольових розплавів і дозволяє отримати метали дуже високої чистоти. При цьому метал-анод розчиняється, а на катоді осаджується чистий метал. Розділення елементів відбувається завдяки різниці їх електрохімічних потенціалів. Метод особливо ефективний для очищення кольорових металів.

Хімічне рафінування. Базується на різній розчинності металів і домішок у кислотах або лугах. Небажані елементи переходять у розчин і потім видаляються хімічним шляхом — через гідроліз, цементацію, утворення нерозчинних сполук або іонний обмін. Типовим прикладом є афінаж золота — очищення його у киплячій сірчаній чи азотній кислоті, при якому домішки (Cu, Ag та інші) розчиняються, а чисте золото залишається у вигляді осаду.

### **3.7 Продувка нейтральними газами**

Продування нейтральним (інертним) газом застосовується для усереднення хімічного складу та температури металу, коригування температури сталі перед розливом, перемішування металу та шлаку з метою підвищення швидкості хімічних реакцій, дегазації розплаву та видалення неметалічних включень. Бульбашки газу, що спливають при продувці через весь шар металу, чинять на нього рафінуючу дію.

Зазвичай для продувки в ковші застосовують аргон, який отримують на кисневих станціях металургійних заводів при розділенні повітря з метою виробництва кисню. Витрата аргону при продувці становить 0,3–2,0 м<sup>3</sup>/т сталі. У процесі продувки аргоном відбувається зменшення кількості оксидних включень і, відповідно, загального вмісту кисню.

При продувці металу аргоном відбувається не тільки флотація неметалічних включень, але й часткова дегазація і зневуглецювання сталі, оскільки бульбашки аргону є готовими центрами виділення з металу газоподібних домішок, які не змогли б самостійно утворити газову фазу через високий капілярний і феростатичний тиски. Крім того, аргон в бульбашках є «хімічним вакуумом» відносно СО, водню та азоту, оскільки парціальний тиск останніх в «нових» бульбашках надзвичайно малий. Це проявляється в явищі вторинного кипіння металу, коли об'єм газу, що виділяється з металу, помітно перевищує об'єм газу, що вдувається.

Найбільш простим способом обробки сталі аргоном є продувка із застосуванням «хибного стопора» (рис. 3.13), що представляє собою сталеву трубу, футеровану зовні вогнетривкими катушками. Для посилення ефекту перемішування і деякого віддалення бульбашок газу, що спливають, від стопора, використовують стопори з вогнетривкою пробкою, що насаджена на вихідну частину труби і має розташовані радіально або перпендикулярно осі стопора отвори для виходу газу. Стопор занурюють на глибину 200–300 мм вище днища ковша. Простота пристрою «хибного стопора» для продувки металу в тому, що не потрібно вводити ніякі зміни в будові футерівки ковша.

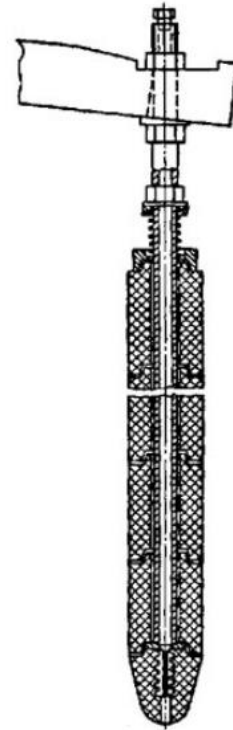


Рисунок 3.13 - Фурма у вигляді «хибного стопора» для продування металу в ковші

Його недолік полягає в тому, що при продувці найбільш інтенсивний рух газу відбувається уздовж стопора і це призводить до його розмивання і попадання частинок вогнетривів в сталь. До того ж стопори являють собою пристрої разового використання.

Для введення інертного газу метал використовують пористі «пробки» (рис. 3.14) в днище сталерозливного ковша. Вони виготовляються з грубозернистого матеріалу під низьким тиском пресування і піддаються спеціальному випалу. Високою газопроникністю і задовільними властивостями володіють пробки із спеченого муллита (70 %  $Al_2O_3$ ) і магнезиту (95 %  $MgO$ ). Пориста пробка у формі усіченого конуса монтується в днищі ковша зсередини або зовні. Стійкість пробок зазвичай становить 15–30 плавов.

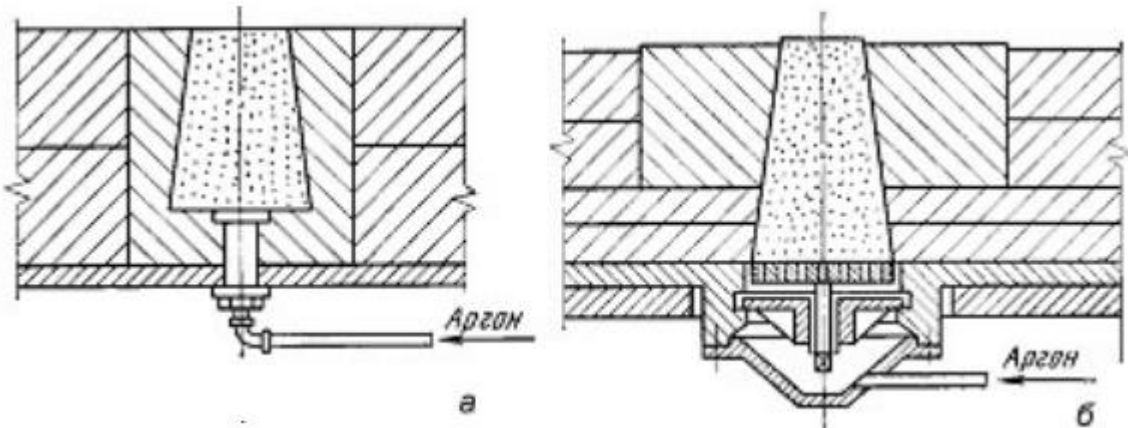


Рисунок 3.14 - Схема установки пористої вогнетривкої «пробки» в днище ковша при монтажі вставки зсередини (а) та зовні (б)

У порівнянні з «хибними стопорами» пористі пробки мають ту перевагу, що при проникненні через них газу він надходить в рідкий метал у вигляді дрібних бульбашок. Це забезпечує велику поверхню контакту метал-інертний газ і, відповідно, більшу швидкість переходу компонентів між цими фазами. Інтенсивність масообмінних процесів збільшується із застосуванням не однієї пористої пробки в центрі днища ковша, а декількох (зазвичай 3–4), розташованих на середині радіуса днища ковша.

### 3.8 Обробка сталі на установках «ківш-піч»

Установка «ківш-піч» — це сучасний агрегат комплексної позапічної обробки сталі, призначений для доведення рідкого металу до необхідного складу та властивостей. Вона дає змогу виконувати у сталерозливному ковші такі операції, як розкиснення, мікролегування, модифікування та точне коригування хімічного складу сталі. Крім того, агрегат забезпечує підтримання стабільної температури металу, його нагрівання до заданого рівня та мінімізацію теплових втрат.

Конструктивно «піч-ківш» може бути однофазною або трифазною електродуговою піччю. Після обробки у ній розплавлена сталь направляється на установку безперервного лиття заготовок або зливається у виливниці.



Процеси, що відбуваються в установці, базуються на нагріванні металу електричними дугами та перемішуванні його інертним газом. Завдяки використанню синтетичних шлаків, підібраних відповідно до марки сталі, забезпечується максимальне засвоєння розкислювачів і легуючих елементів. Горіння дуг та окиснення графітових електродів створюють відновне середовище з високим вмістом оксиду вуглецю (до 70%), що сприяє стабільності хімічного складу сталі. Відхилення між плавками не перевищують (%): C  $\pm 0,01$ ; Mn  $\pm 0,050$ ; Si  $\pm 0,050$ ; Al  $\pm 0,010$ .

До складу установки входить сталерозливний ківш із кожухом із нержавіючої немагнітної сталі, встановлений на сталевіз із електромагнітним індуктором для перемішування металу. Ківш має дві кришки:

- склепінчасту — із трьома електродами для дугового нагріву;
- герметичну — для підключення до вакуумної системи насосів.

Також система оснащена автоматизованими пристроями зважування та введення добавок у ківш.

Процес плавки в установці «ківш-піч» є складним і тривалим, проте він забезпечує високу чистоту сталі, точне регулювання складу та значну гнучкість технології. Саме тому цей агрегат широко застосовується в сучасній металургії, сприяючи підвищенню продуктивності дугових печей.

Комплексна технологія позапічної обробки сталі на установці «ківш-піч» включає такі етапи:

- точне регулювання складу й температури металу, включно з його нагрівом;
- десульфуріацію шляхом вдування порошкоподібних реагентів;
- зневуглецювання та вакуумування розплаву;
- рафінування та модифікування введенням порошоків або порошкового дроту;
- мікролегування сталі тими ж способами.

Застосування цього агрегату дозволяє досягти помітних техніко-економічних переваг:

- зростання продуктивності на 20–30 %;
- зменшення витрат розкислювачів і легуючих матеріалів на 5–25 кг/т сталі;
- зниження кількості браку на 50–70 %.



### 3.9 Обробка сталі при пониженому тиску (вакуумування)

Більшість сучасних методів обробки металу за зниженого тиску були розроблені та запатентовані ще в другій половині XIX століття. Однак їх широке впровадження тривалий час було неможливим через відсутність відповідного технічного забезпечення, насамперед високопродуктивних вакуумних насосів.

Перші промислові вакуумні установки з'явилися значно пізніше. Починаючи з 1955 року, у виробничій практиці почали застосовувати метод вакуумування металу безпосередньо в ковші. Згодом у короткий термін було розроблено й інші ефективні технології вакуумної обробки сталі. Сьогодні ці методи постійно вдосконалюються, з'являються нові варіанти процесів, що забезпечують ще вищу якість обробки. У сучасному виробництві високоякісної сталі вакуумування є невід'ємною складовою позапічної обробки.

На теперішній час у промислово розвинених країнах успішно експлуатуються сотні різноманітних установок для позапічного вакуумування металу. Найбільш поширеними методами обробки сталі під вакуумом є:

- вакуумування в ковші;
- порційна та циркуляційна вакуумна обробка;
- вакуумування в струмені під час переливання металу.

Під час вакуумування в ковші (рис. 3.15) сталерозливний ківш із рідким металом розміщують у герметичну камеру, де створюється розрідження.

Вакуумна камера, як правило, має циліндричну форму, а її розміри дають змогу вільно встановлювати та виймати ківш за допомогою крана. Зверху камера закривається кришкою, яка ущільнюється за допомогою термостійкого гумового кільця. Для запобігання перегріву поверхні ущільнення охолоджуються водою. На кришці розташовані бункери з вакуумними шлюзами, через які у метал подають легуючі добавки та розкислювачі. Також передбачено оглядове вікно (або телевізійну камеру) для спостереження за процесом обробки.

Щоб покращити масообмін між металом і розрядженою атмосферою, у ковші здійснюють примусове перемішування розплаву — найчастіше

шляхом продування аргоном, рідше за допомогою змінного електромагнітного поля.

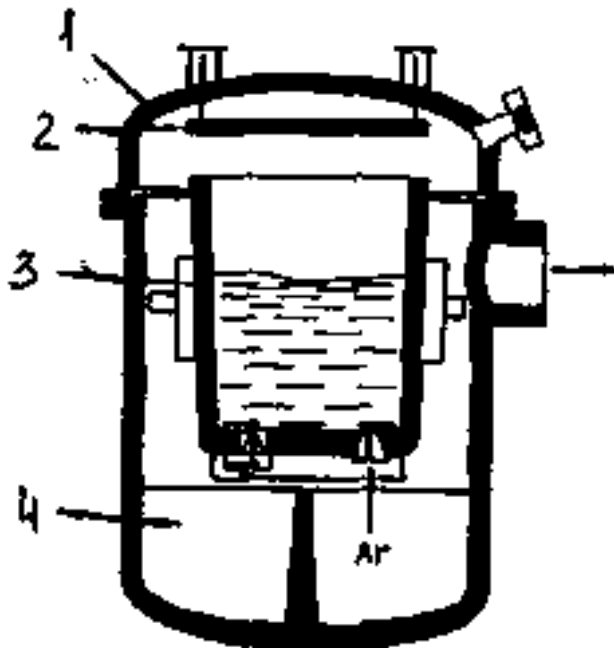


Рисунок 3.15 – Установа вакуумування сталі в ковші: 1 – вакуум-кришка; 2 – теплоізоляційний екран; 3 – сталерозливний ківш; 4 – вакуум-камера

У процесі відкачування газу з камери починається інтенсивне кипіння металу, яке поступово припиняється після досягнення необхідного рівня тиску. Завершуючи вакуумну обробку, за потреби додають легуючі елементи для уточнення складу сталі.

Тривалість процесу залежить від хімічного складу металу та зазвичай становить 10–20 хвилин. Швидкість охолодження металу при цьому сягає 3–4,5 °С/хв, а загальні тепловтрати визначаються як підготовчими, так і подальшими технологічними операціями.

При вакуумування порцій металу обробці піддається не весь об'єм металу в ковші одночасно, а лише окремі його порції, які послідовно надходять до спеціальної вакуумної камери. Після обробки чергова порція розплаву повертається назад у ківш. Процес повторюється доти, поки весь метал не буде дегазований до необхідного ступеня.

Установки порційного вакуумування представлені на рис. 3.16. Після опускання вакуумної камери вмикаються насоси, які створюють у ній

розрідження тиском близько 100 кПа. Під дією різниці тисків розплавлений метал засмоктується у вакууматор, заповнюючи нижню частину камери (рис. 3.16, а). Висота стовпа металу зазвичай становить близько 1,4 м. У момент потрапляння металу в область пониженого тиску відбуваються процеси вакуумного розкиснення вуглецем і дегазації, під час яких розплав інтенсивно «кипить».

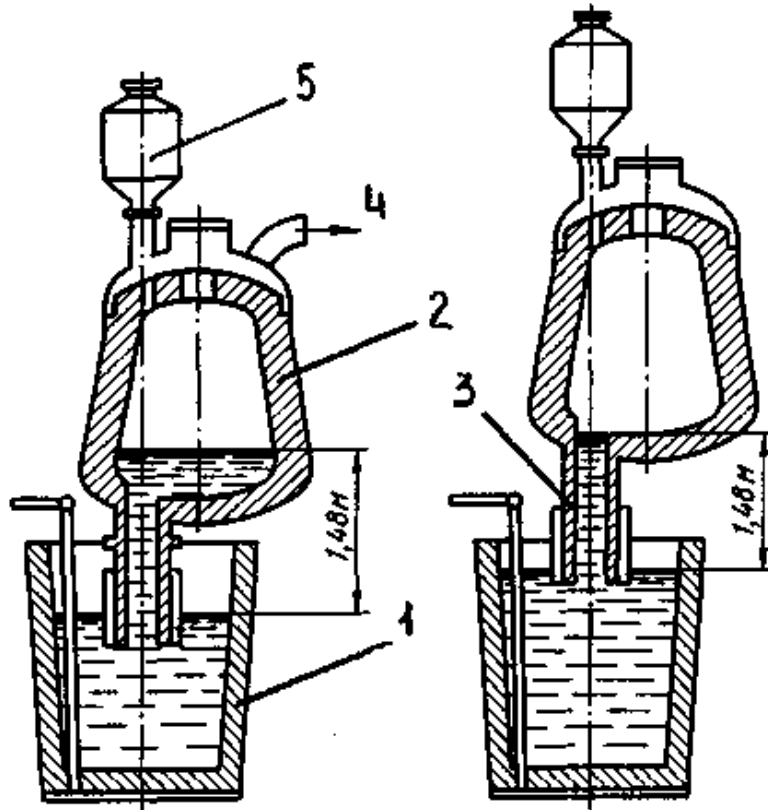


Рисунок 3.16 – Установки порційного вакуумування: а – наповнення камери; б – злив металу з камери; 1 – ківш; 2 – вакуумна камера; 3 – патрубок; 4 – вакуумпровід; 5 – дозатор

Після завершення виділення газів камера піднімається, і оброблений метал витікає назад у ківш (рис. 3.16, б). Опускання та піднімання камери повторюють кілька разів — без повного виймання всмоктувального патрубку з металу та без розгерметизації системи — доки весь обсяг розплаву не пройде вакуумну обробку.

Робочий шар футерівки вакуумної камери виготовляють із хромомagneзитових вогнетривких матеріалів, а між ним і сталевим кожухом розміщують теплоізоляційний шар. Всмоктувальний патрубок товщиною

близько 15 мм футерується зсередини хромомагнетитовою цеглою, а зовні покривається високоглиноземистою литою масою на рідкому зв'язувальному компоненті.

Для підтримання необхідної температури футерівки (1200–1400 °С) вакуумну камеру оснащують графітовим стрижнем, який функціонує як нагрівальний елемент опору.

На відміну від порційного методу, циркуляційна вакуумна установка (рис. 3.17) має два футеровані патрубкі: один слугує для засмоктування металу у вакуумну камеру, інший — для його відтоку назад у ківш. Обидва патрубкі занурені в розплав. Під час відкачування повітря з камери створюється розрідження, внаслідок чого метал піднімається у вакуумну зону приблизно на 1,4 м і покриває нахилену подину камери.

До нижньої частини всмоктувального патрубка подається аргон, який виконує роль транспортного газу. Піднімаючись вгору, аргон утворює потік бульбашок, що захоплюють за собою рідкий метал. Через зливний патрубкі розплав повертається назад у ківш, забезпечуючи безперервну циркуляцію.

Камера має форму подовженого циліндра, який

складається з двох частин, з'єднаних фланцями. Її висота визначається продуктивністю установки і зазвичай становить 8–11 м. Для футерівки використовують хромомагнетитові вогнетривкі матеріали. Всмоктувальний і зливний патрубкі зовні додатково покривають високоглиноземистою

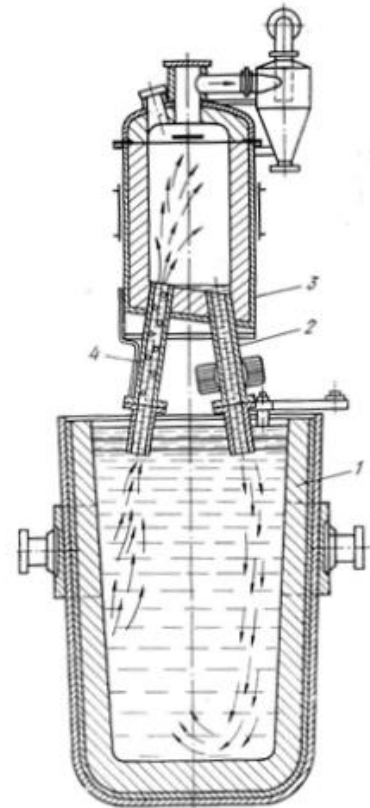


Рисунок 3.17 – Схема циркуляційного вакуумування сталі: 1 - ківш; 2 - патрубкі (зливний); 3 - днище вакуум-камери; 4 - патрубкі (всмоктуючий)

масою, що підвищує їхню стійкість — вони витримують 50–100 циклів обробки, тоді як подина служить до 200.

Аргон подається у всмоктувальний патрубок через кілька нержавіючих трубок, розміщених у два або три ряди, причому газ надходить у кожну з них окремо. Система нагрівання підтримує температуру футерівки на рівні 1200–1400 °С. Крім того, вакууматор обладнано системою дозованого введення феросплавів і легуючих елементів. Під час обробки у вакуумній камері перебуває приблизно десята частина всього об'єму металу.

Вакуумна обробка струменя рідкого металу (дегазація сталі в струмені) здійснюється під час його випуску зі сталеплавильного агрегату в ківш, при переливанні з одного ковша в інший або під час розливання у виливницю (рис. 3.18). У вакуумі струмінь розплаву розпадається на дрібні краплі та бризки, завдяки чому видалення газів відбувається особливо інтенсивно.

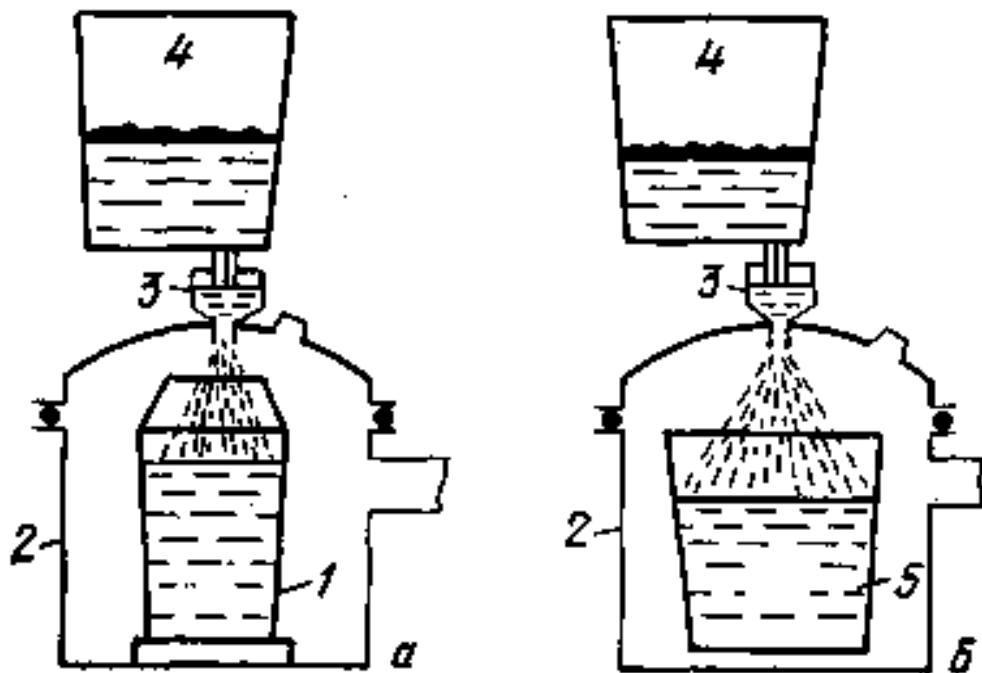




Рисунок 3.18 – Установки вакуумування в струмені: а - при відливанні зливку; б - при переливі з ковша в ківш; 1 - виливниця; 2 - вакуумна камера; 3 - проміжна ємкість; 4 - ківш з металом; 5 - сталерозливний ківш



Перед початком процесу вмикають вакуумні насоси, і після досягнення заданого розрідження починають переливати метал у ківш, розташований у вакуумній камері. Найкращі результати дегазації досягаються при швидкості переливання близько 25 т/хв, тривалість процесу не перевищує 15 хвилин. У процесі обробки до металу додають необхідну кількість розкислювачів і легуючих компонентів. Після завершення переливання вакуумні насоси вимикають, тиск у камері підвищується до атмосферного, і ківш з очищеним металом направляють на розливання.

### **Питання до самоконтролю:**

1. Що таке рафінування чавуну і з якою метою воно проводиться?
2. Які основні шкідливі домішки видаляються під час рафінування чавуну?
3. У чому полягає принцип фізико-хімічного очищення металу?
4. Які основні види рафінування застосовуються у сучасній металургії?
5. Як впливають умови температури та часу на ефективність процесу рафінування?
6. Чому кремній, фосфор і сірка вважаються шкідливими домішками?
7. Які методи десиліціації, дефосфорації та десульфурзації використовують у промисловості?
8. Яку роль відіграють флюси та шлаки у процесі видалення домішок?
9. Як впливають температура та склад шлаку на ефективність очищення чавуну?
10. Які сучасні технологічні рішення дозволяють досягти високого ступеня очищення?
11. Що таке розкислення сталі та з якою метою воно проводиться?
12. Які хімічні реакції лежать в основі процесу розкислення?
13. Які елементи є найпоширенішими розкислювачами?
14. У чому полягає відмінність між повним, частковим і дифузійним розкисленням?
15. Як вибір методу розкислення впливає на якість сталі?

- 
16. Що таке феросплави і яке їх призначення у сталеплавильному виробництві?
  17. Які види феросплавів застосовуються для розкислення та легування сталі?
  18. Як поділяють феросплави за основними компонентами?
  19. Які фактори впливають на якість і чистоту феросплавів?
  20. У яких формах і на якому етапі технологічного процесу вводяться феросплави?
  21. Що таке легування сталі і яку мету воно переслідує?
  22. Які основні легувальні елементи використовуються у сучасній металургії?
  23. Як легувальні елементи впливають на властивості сталі?
  24. Яким чином вводяться легувальні добавки у розплав?
  25. Які типи легованих сталей розрізняють за вмістом домішок?
  26. У чому полягає процес рафінування сталі та від чого він відрізняється від рафінування чавуну?
  27. Які технологічні методи застосовуються для очищення сталі?
  28. Як здійснюється видалення неметалевих включень із рідкого металу?
  29. Які процеси протікають у шлаковому та газовому середовищах під час рафінування?
  30. Яке значення має рафінування для поліпшення властивостей сталі?
  31. З якою метою проводиться продувка сталі нейтральними газами?
  32. Які гази найчастіше використовуються для продувки (аргон, азот тощо)?
  33. Які основні схеми подачі газу в розплав застосовуються на практиці?
  34. Як продувка впливає на видалення неметалевих включень і газів із металу?
  35. Які параметри (тиск, витрата, тривалість) визначають ефективність продувки?
  36. У чому полягає суть технології «ківш–піч»?
  37. Які основні функції виконує установка «ківш–піч» у металургійному циклі?



38. Які процеси здійснюються під час обробки сталі в ковші (нагрів, рафінування, розкислення)?
39. Як забезпечується контроль складу та температури сталі на установці «ківш–піч»?
40. Які переваги має ця технологія порівняно з традиційним сталеплавильним процесом?
41. Яке призначення вакуумної обробки сталі?
42. Які фізико-хімічні процеси відбуваються під час вакуумування?
43. Як вакуум впливає на вміст газів (кисню, водню, азоту) у сталі?
44. Які основні види вакуумних установок застосовуються у промисловості?
45. Які переваги забезпечує вакуумування з точки зору якості та властивостей сталі?



## ТЕМА 4. РОЗЛИВАННЯ СТАЛІ

Після досягнення необхідних показників якості розплавлену сталь направляють у розливний ківш, звідки вона подається до машини для розливання. Готовий метал із сталеплавильних агрегатів випускають у сталерозливні ковші, місткість яких зазвичай становить половину або повну масу плавки. В останні роки, у зв'язку з широким впровадженням технологій позапічної обробки, є тенденція до збільшення місткості ковшів у 1,1–1,4 рази.

На сучасних металургійних підприємствах розливання сталі здійснюється двома основними способами — у виливниці (зверху або сифоном) та на машинах безперервного лиття заготовок (МБЛЗ).

Вибір методу розливання, а також його основних параметрів — температури металу, швидкості подачі у виливницю чи кристалізатор, об'єму ковшів і конструкції приймальних пристроїв — значно впливає на ефективність роботи сталеплавильного цеху, визначаючи вихід придатних зливків або заготовок.

Способи розливання сталі у виливниці (рис. 4.1) :

- Розливання зверху. Застосовується тоді, коли необхідно отримати невелику кількість великих зливків. Цей метод дозволяє розливати сталь з відносно низькою температурою, утворюючи зливки з менш вираженою усадковою раковиною. Недоліком є дещо гірша якість поверхні через розбризкування металу, однак при цьому кількість неметалевих включень у зливку зменшується.

- Розливання сифоном (знизу). Використовується у випадках, коли потрібно одночасно залити кілька виливниць (2–6 штук).

На якість сталевих зливків впливають такі параметри, як його маса, форма поперечного перерізу, висота, контур, ухили граней і радіуси заокруглення кутів. Ці показники визначаються відповідно до технологічних вимог, параметрів цехового обладнання, розмірів нагрівальних колодязів і прокатних станів, а також швидкості прокатки й режиму деформації зливків.

Форма поперечного перерізу залежить від подальшого призначення сталі. Зливки квадратного перерізу з опуклими або увігнутими гранями зазвичай використовують для прокатки сортового прокату (кругів, кутників, швелерів тощо). Увігнута форма забезпечує більшу жорсткість і

стабільність зливка під час прокатки. Прямокутні зливки, своєю чергою, призначені для виробництва листового прокату.

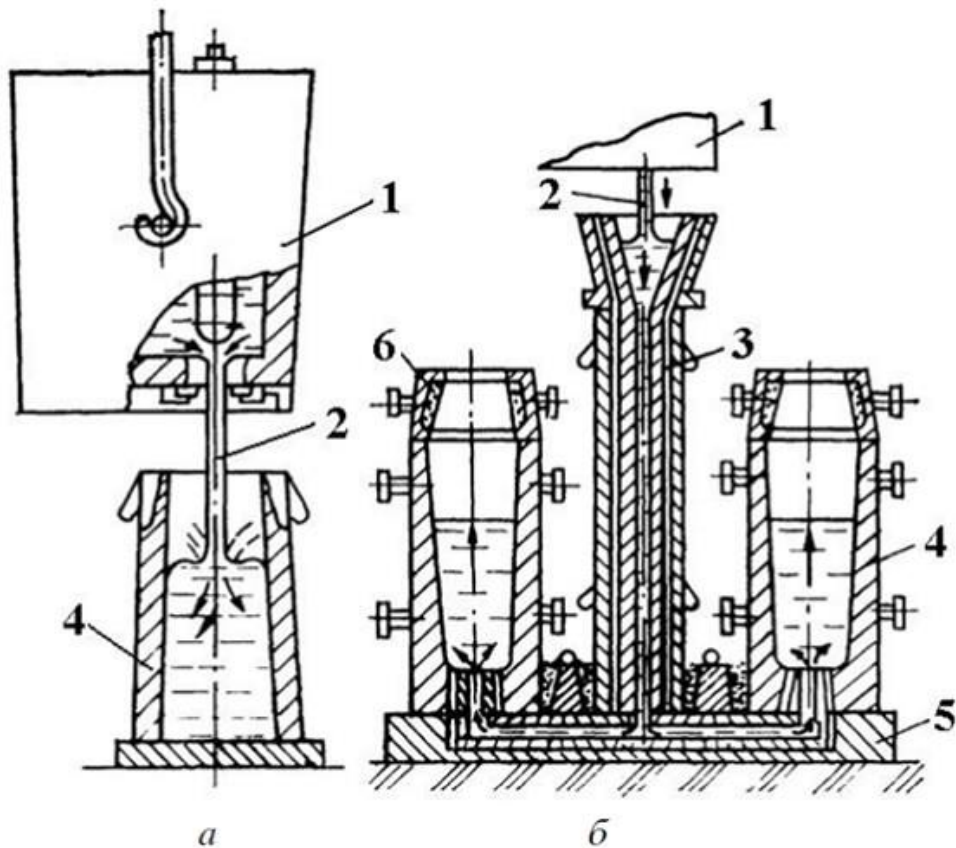


Рисунок 4.1 – Розливання сталі у виливниці: а – зверху; б – сифоном: 1 – ківш; 2 – метал; 3 – центральний ливник; 4 – виливниці; 5 – піддон; 6 – надставка для утеплення прибутку


Виливниці зазвичай виготовляють із чавуну, рідше — зі сталі.

Переваги розливання сталі зверху:

- простота підготовки обладнання і його невисока вартість;
- відсутність втрат металу на литникову систему;
- можливість роботи з металом нижчої температури, ніж при сифонному способі.

Недоліки розливання зверху:

- утворення поверхневих дефектів (залівів) у нижній частині зливка через розбризування металу при його падінні на дно виливниці;
- необхідність додаткової зачистки поверхні заготовок перед прокаткою;



- більша тривалість процесу, що знижує стійкість футеровки ковша та погіршує умови роботи шибєрного затвора.

Перевагами сифонної розливки сталі є:

- можливість одночасної розливки декількох зливків скорочує тривалість розливки усїєї плавки;
- внаслідок скорочення загальної тривалості розливки швидкість підйому металу в виливниці може бути значно менше, ніж при розливці зверху;
- поверхню зливків виходить чистою, так як метал в виливниці піднімається спокійно без розбризкування;
- підвищується стійкість футеровки ковша та поліпшуються умови роботи шибєрного затвора внаслідок меншої тривалості розливки та зменшення числа закривань й відкриттів затвора;
- під час розливки можна стежити за поведінкою піднімання в виливниці металу і відповідно до цього регулювати швидкість розливки.


Недоліками сифонної розливки сталі є:

- складність і підвищена вартість розливки, обумовлені витратою сифонної цегли, встановленням додаткового обладнання;
- додаткові втрати металу у вигляді літників (0,7– 2,5% від маси сталі, що розливається) і можливість втрати металу при проривах через сифонні цеглини;
- температура металу перед розливкою повинна бути вище, ніж при розливці зверху, так як він додатково охолоджується в каналах сифонної цегли.

Історично склалося так, що розливання зверху стала першим способом виливки сталевих злитків. Надалі з підвищенням вимог до якості поверхні злитків, поліпшенням технології виготовлення вогнетривких виробів і збільшенням ємності сталеплавильних агрегатів сифонний спосіб розливання сталі набув широкого поширення на заводах, де не були встановлені потужні обтискні стани і тому відливали дрібні злитки.

Високоякісні вуглецеві та леговані сталі розливають, головним чином, сифоном. Розливку сталі сифоном використовують також при розливці вуглецевої сталі звичайної якості в злитки малого розважування.

При сифонній розливці та розливці сталі зверху втрати металу у вигляді скрапу і недоливів становлять 0,6– 1,9%.



## 4.1 Обладнання для розливки сталі в зливки

Розливальні відділення, призначені для розливання в злитки, обладнані необхідною кількістю розливних майданчиків, розливальних кранів і залізничними шляхами, по яких до розливних майданчикам подають состави з виливницями. Виливниці заповнюють рідким металом з ковша, переміщуваного розливальним краном над поїздом з виливницями. Після розливання сталі і затвердіння злитка состави з виливницями подають локомотивом у відділення «роздягання» злитків (стриперні відділення) для зняття прибуткових надставок і підриву злитків з розширенням догори.

Для розливки сталі використовують наступне устаткування:

- сталерозливний ківш;
- проміжний ківш або проміжний розливний пристрій;
- виливниці;
- піддони.

Сталерозливний ківш. Номінальна місткість сталерозливальних ковшів становить від 0,5 до 500 т. Ківш складається зі зварного кожуха, виготовленого із сталевих листів завтовшки 16-40 мм. Він має форму зрізаного конуса (рис. 4.2), з розширенням догори. Днище ковша може бути плоским або мати сферичну форму (у ковшах великого об'єму). Воно виготовляється з більш товстих листів і має пристосування для кантування.

Кожух ковша має ребра жорсткості та сталевий пояс, забезпечений двома цапфами, за які ківш може бути піднятий за допомогою траверси сталерозливального крану, а також кронштейнами для установки на стенд.

Щоб уникнути перекидання, осі цапф мають бути розташовані вище за центр тяжіння ковша, наповненого металом і шлаком.

У верхній частині кожуха приварюють кільце жорсткості і передбачають (якщо це необхідно) отвори для шлакового носка і для кріплення його на корпусі. Рівень поду носка розташований на 100-150 мм нижче за верхній край ковша.

У днищі ковша є отвори для розливних стаканів. На днищі є постановочні фланці для кріплення шибєрних затворів і пристроїв для продування металу аргонном.

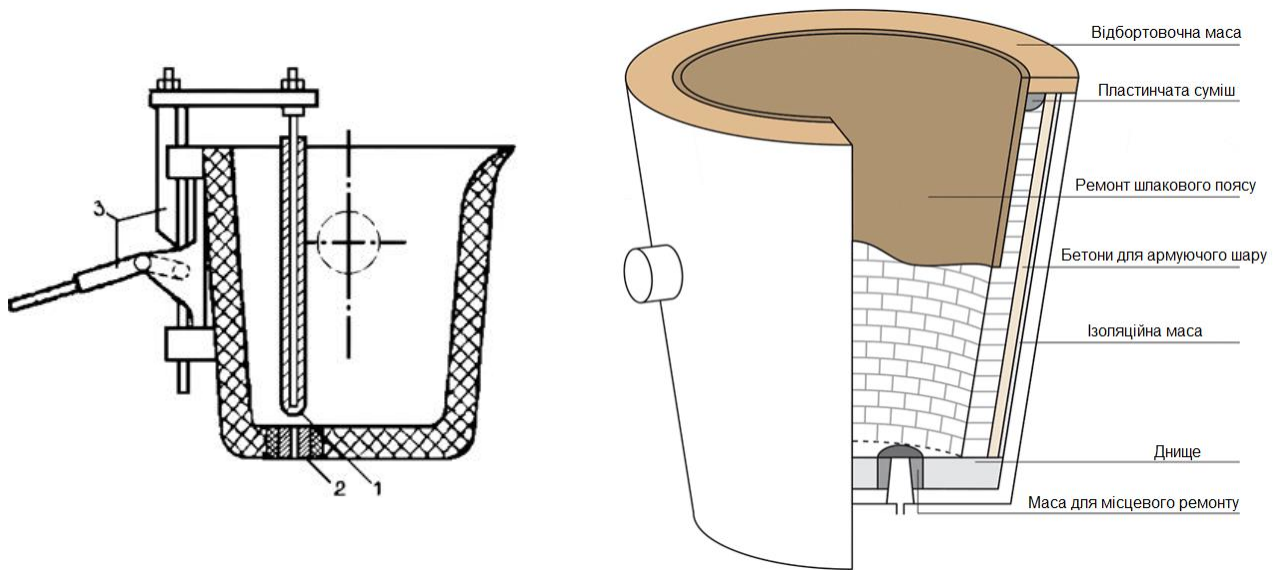



Рисунок 4.2 – Сталерозливальний ківш зі стопорним затвором: 1 - стопор; 2 - стакан з отвором для випуску сталі; 3 - важільна система керування стопором

Для футерування сталерозливних ковшів широко використовують шамотну цеглину, а також набивні або наливні кислі вогнетривкі маси. Під час розливання сталі відповідального призначення для футерування сталерозливних ковшів використовують високоглиноземисту, магнезитову, доломітову цеглу тощо. У футеровці днища ковша встановлюють гніздову цеглину, в яку вставляють розливний стакан. Найбільш поширені розливні стакани з магнезиту. Діаметр каналу сталерозливного стакану змінюється від 35 до 80 мм, а для швидкісного розливання – 10-120 мм. Наново відфутерований або відремонтований ківш сушать і розігрівають до 700-800°C.

Стійкість кислій футеровки сталерозливних ковшів становить 7-15 плавок. Проміжні ремонти футеровки торкретуванням дозволяють збільшити її стійкість на 30-50%.

Тривалий час отвори сталерозливних стаканів перекривали з використанням стопора – сталевго стрижня діаметром приблизно 50 мм, який захищали від дії рідкого металу шамотними котушками діаметром 185-220 мм і корком. Основними недоліками стопорного пристрою є висока витрата вогнетривів, великий обсяг робіт з підготовки



стопорів і часті аварії під час розливання (приварювання і відрив корка, деформація і переїдання стопора тощо).

Останнім часом металургійні підприємства перейшли на використання сталерозливних ковшів, оснащених шибєрними затворами. Плити таких затворів, виготовлені з корунду або периклазу, дають змогу здійснювати розливання від однієї до трьох плавок.

Сталерозливний ківш виконує низку важливих функцій:

- служить ємністю для транспортування розплавленого металу від сталеплавильного агрегату до місця розливання;

- забезпечує розподіл сталі по виливницях або кристалізаторах машин безперервного лиття заготовок (МБЛЗ);

- використовується як агрегат, у якому проводять різні металургійні операції — розкислення, легування, вакуумну обробку, продування інертним газом, а також обробку рідкими синтетичними шлаками чи твердими шлаковими сумішами;

- слугує ємністю для витримування сталі при необхідній температурі в процесі розливання.

Проміжний ківш є додатковою ланкою в технологічному ланцюгу сталеплавильний агрегат – сталерозливний ківш – зливоч. Незважаючи на додаткові витрати на його виготовлення та обслуговування, його використання вважається економічно та технологічно доцільним.

Основні переваги застосування проміжних ковшів

- забезпечується рівномірне розливання всієї плавки зі стабільною швидкістю та однаковими характеристиками струменя металу;

- значно зменшується сила удару струменя при заливанні;

- стає можливим одночасне розливання декількох зливків зверху;

- у разі потреби можна проводити додаткові операції з коригування складу та поліпшення якості сталі;

- під час безперервного розливання забезпечується можливість роботи за методом «плавка на плавку», тобто розливання кількох плавоч без переривання потоку металу з проміжного ковша.

Наявність певного запасу металу в проміжному ковші дозволяє продовжувати процес розливання навіть під час заміни спорожненого сталерозливного ковша новим.

До недоліків використання проміжних ковшів належать:

- збільшення поверхні контакту металевого струменя з повітрям,

що спричиняє вторинне окиснення металу;

– додатковий етап перепускання металу через ківш, який призводить до його охолодження.

Ці недоліки усувають шляхом удосконалення конструкції проміжних ковшів: застосовують моделі, що безпосередньо з'єднуються з великими розливними ковшами для зменшення контакту струменя з повітрям; використовують ковші з кришками для збереження тепла, а також ковші з вогнетривкими перегородками, які сприяють кращому спливанню неметалевих включень.

Виливниця (або мультда) — це металева форма, призначена для розливання рідкого металу та отримання зливків.

За конструктивними ознаками виливниці поділяють на (рис. 4.3):

- пляшкові, глуходонні та наскрізні;
- вертикальні або горизонтальні;
- із прямокутним, квадратним, круглим чи іншим поперечним перерізом;
- з дном або без нього (наскрізні).

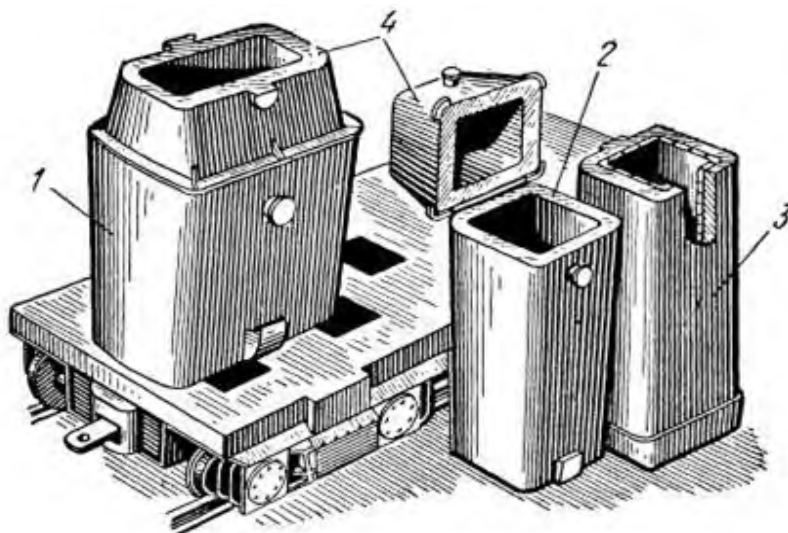


Рисунок 4.3 – Виливниці для розливки спокійної сталі: 1 – для спокійного листового металу; 2 – розширена догори; 3 – з футерованим верхом; 4 – прибуткова надставка

Зазвичай виливниці виготовляють із чавуну, отриманого у вагранці, іноді — безпосередньо з доменного чавуну. Такий вибір зумовлений низькою вартістю матеріалу, його хорошими ливарними властивостями та

стійкістю до деформацій під час нагрівання.

Для розливання киплячої або напівспокійної сталі (як зверху, так і сифоном) найчастіше застосовують наскрізні виливниці, що розширюються донизу. Вони відзначаються простотою конструкції, зручністю виготовлення та експлуатації.

Форма поперечного перерізу (рис. 4.4) та розміри виливниць визначають призначення майбутніх зливків:

- до 1,5 т — для сортових і листових станів (при сифонному розливанні);
- до 10 т — для блюмінгів і сортових або проволочно-штрипсових станів (розливання у квадратні чи прямокутні прості виливниці, де відношення ширини до товщини не перевищує 1,1);
- до 10 т — для подальшої прокатки на середній або тонкій лист (виливниці прямокутного перерізу з відношенням сторін близько 1,5);
- до 10 т — для отримання квадратних або плоских заготовок (слябів) перетином 150×1000 мм, використовуючи уніфіковані прямокутні виливниці з відношенням сторін близько 1,3;
- від 6 до 25 т — для зливків, призначених для прокатки на товстолистових станах і слябінгах.

Форма поперечного перерізу виливниці визначається типом подальшої обробки зливка. Так, на блюмінгах зазвичай обтискають зливки квадратного перерізу, на слябінгах — прямокутного або овального, а круглі зливки застосовують для виготовлення труб.

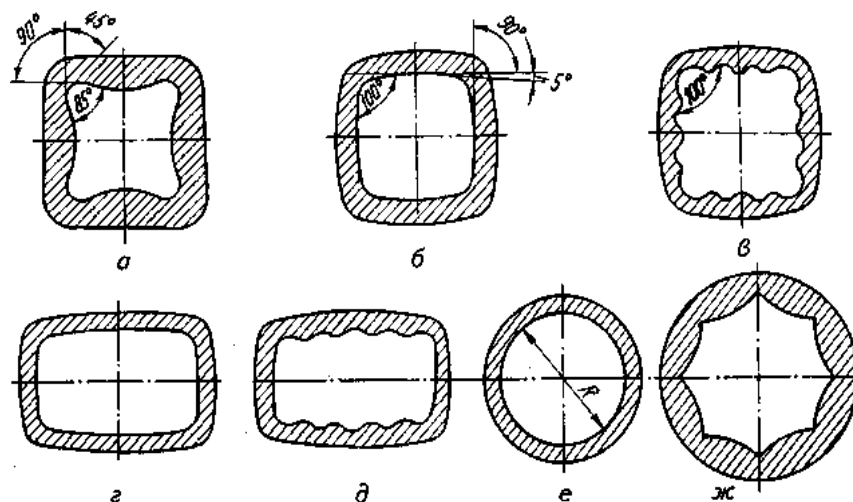



Рисунок 4.4 – Форми (а–ж) поперечного перетину виливниць



Прибуткові надставки застосовують під час розливання спокійної сталі у виливниці, що мають розширення у верхній частині. Їх футерують теплоізоляційними матеріалами, щоб уповільнити охолодження верхньої зони зливка й спрямувати утворення усадочної раковини саме туди. Згодом частину виливка, у якій розташована раковина, відрізають під час прокатування та переплавляють.

Оскільки величину усадки, зумовлену природними властивостями сталі, зменшити неможливо, прагнуть мінімізувати втрати металу за рахунок концентрації усадочної раковини у верхній (головній) частині зливка та зменшення глибини її проникнення.

Для цього використовують прибуткові надставки, які під час розливання заповнюються рідким металом. Його поверхню покривають теплоізоляційними матеріалами — азбестом, коксово-шлаковою сумішшю чи спеціальними розігрівальними складами, що містять алюміній, феросиліцій, дрібний кокс або деревне вугілля, шамот, боксит тощо. Метал у надставці довше залишається рідким, живить злилок під час його кристалізації та застигає останнім, утворюючи в цій частині усадочну раковину.

Завдяки таким заходам розмір головної частини, яку обрізають у зливках спокійної сталі, становить 12–16%, а для дрібних або легованих злиwkів — до 20%.

У зливках киплячої сталі концентрована усадочна раковина не виникає, оскільки вона компенсується великою кількістю газових бульбашок, заповнених оксидом вуглецю, що утворюється під час “кипіння” сталі у виливниці. Через це немає потреби застосовувати форми, які розширюються догори — киплячу сталь розливають у наскрізні виливниці, що розширюються донизу, що полегшує зняття виливниці після затвердіння зливка.

## **4.2 Технологія розливки сталі в зливки**

Розливання сталі з різним ступенем розкислення зумовлює формування злиwkів із відмінною внутрішньою структурою. Типова структура зливка спокійної сталі складається з шести основних зон.

Поверхневий шар. Він утворюється в момент контакту рідкого

металу зі стінками виливниці або кристалізатора. Цей тонкий шар (так звана “скориночка”) складається з дрібних, хаотично орієнтованих кристалів і за хімічним складом майже не відрізняється від сталі в ковші.

Зона стовпчастих кристалів. Її розміри та характер залежать від складу сталі, швидкості охолодження і різниці температур між розплавом та стінками виливниці. У міру росту цієї зони теплопередача через неї погіршується, а нагрівання стінок виливниці зменшує їх охолоджувальну здатність. Внаслідок усадки між зливком і виливницею утворюється зазор, що додатково знижує інтенсивність тепловідведення.

Зона уповільненого росту кристалів. У цій частині зливка кристали стають дрібнішими та нахилиються у напрямку до теплового центру. Під час кристалізації газу, що виділяються, утворюють ланцюжки бульбашок, які захоплюють збагачені домішками ділянки (ліквати). У затверділому металі це проявляється у вигляді L-подібних лікваций або “вусів”. До завершення кристалізації третьої зони по периметру зливка утворюється теплоізоляційний прошарок, а виливниця нагрівається до червоного розжарення. Відтік тепла до стінок практично

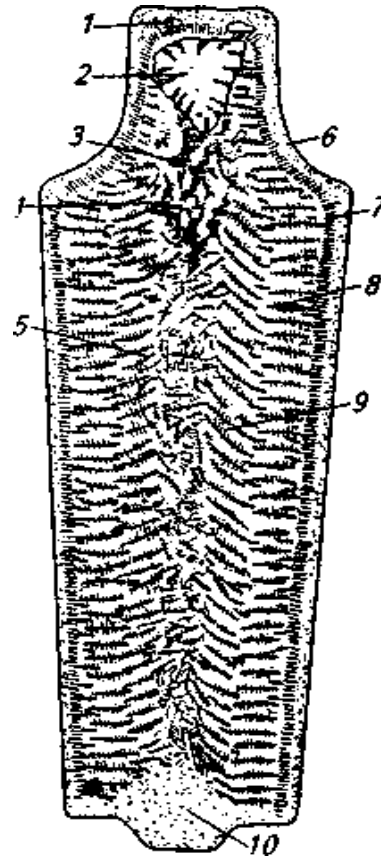



Рисунок 4.5 – Схема кристалічної структури зливка спокійної сталі: 1 – міст над раковиною; 2 – усадкова раковина; 3, 4 – порожнечі та рихлість; 5 – рівноорієнтовані кристали; 6 – дрібні рівноосні кристали; 7, 8 – зона стовпчастих кристалів; 9 – стовпчасти кристали, направлені до теплового центру; 10 – конус осадження



припиняється, і далі охолоджується вже центральна частина рідкої сталі.

Зона безладно орієнтованих кристалів. Через ліквацийні процеси у центральній частині зливка з'являється велика кількість центрів кристалізації, унаслідок чого формується зона з хаотично розташованими кристалами. Для неї характерні типові дефекти — осьова рихлість і V-подібна ліквация.

Зона конуса осадження. Розташовується в нижній частині зливка і має конічну форму. Складається зі зрощених кристалів: одні з них ростуть угору під впливом охолодження піддону, інші опускаються вниз через відламування від попередніх зон або осідання під час кристалізації. На розрізі така структура утворює малюнок конуса без чіткої вершини. Донна частина зливка часто містить менше домішок — вуглецю, фосфору, сірки. Проте за наявності сильних розкислювачів і десульфураторів у цій зоні може накопичуватися більше тугоплавких включень, таких як  $Al_2O_3$ ,  $CaO$ ,  $CaS$ .

Зона усадкової раковини. Під час усадки зливка, коли метал переходить із рідкого в твердий стан, відбувається не лише збільшення щільності, а й виділення газів, що змінює форму та розміри верхньої частини зливка. Саме тут формується усадкова раковина — характерна порожнина, що завершує структуру сталевого зливка.

Структура зливка напівспокійної сталі (рис. 4.6) формується в умовах розкислення, близьких до спокійної сталі. Ступінь розкислення визначає якість отриманого зливка. Залежно від цього показника, напівспокійні сталі поділяють на чотири групи.

У порівнянні з киплячою сталлю, напівспокійна має більш однорідну структуру, кращі механічні властивості, підвищену стійкість до старіння та меншу кількість неметалевих включень. Поліпшення якості зливка спостерігається зі збільшенням його маси та швидкості розливання. Порівняно зі спокійною сталлю, при виробництві напівспокійної сталі досягається вищий вихід придатного металу, у два рази зменшується витрата феросплавів і розкислювачів, а також скорочуються трудові витрати під час підготовки та процесу розливання. Завдяки цьому напівспокійна сталь вважається найекономічнішою і може частково або повністю замінювати як спокійну, так і киплячу сталь.

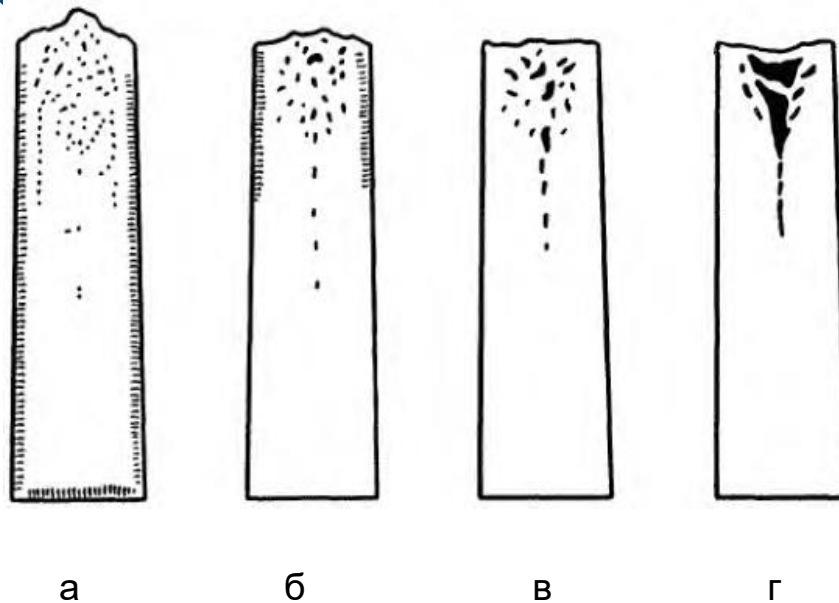


Рисунок 4.6 – Типи структур зливоків напівспокійної сталі: а – недорозкислений зливкок; б – зливкок з вмістом кисню, близьким до верхньої межі; в – нормально розкислений зливкок з вмістом кисню, близьким до нижньої межі; г – перерозкислений зливкок

На відміну від повністю розкисленої спокійної сталі, кипляча сталь під час кристалізації «кипить» через реакцію між вуглецем і киснем у металі:  $[C] + [O] = CO\uparrow$ . Навіть у повністю розкисленій сталі при твердінні відбувається виділення певної кількості газів, але в киплячій сталі газоутворення є значно інтенсивнішим і суттєво впливає на структуру та якість зливка.

Під час кристалізації зливка киплячої сталі (рис. 4.7) формуються кілька характерних зон:

- Зона щільного зовнішнього шару («скориночка») — утворюється при контакті рідкої сталі з холодними стінками виливниці. Складається з дрібних безладно орієнтованих кристалів, близьких за складом до металу в ковші. Товщина цієї зони залежить від швидкості заповнення виливниці: при швидшому розливанні вона менша, при повільнішому — більша.

- Зона стільникових пухирців — формується внаслідок росту стовбчастих кристалів, осі яких збігаються з напрямом відведення тепла. Між кристалами накопичується розчин, збагачений лікватами.

- Зона відносно щільного і чистого металу — характеризується

продовженням ліквацийних процесів без значного газовиділення, адже більшість газів уже вийшла у попередній зоні.

- Зона вторинних пухирців — виникає, коли концентрація лікватів стає достатньою для нового газовиділення. Через утворення застиглої кірки на поверхні сталі пухирці не можуть вийти й залишаються в металі у вигляді округлих пор, які частково зварюються при прокатці.

- Осьова зона зливка — кристалізується останньою і складається з безладно орієнтованих кристалів, збагачених лікватами. У цій зоні наявні пухирці усадкового походження, навколо яких концентруються сірка й фосфор. Великі пухирці погано зварюються, тому головну частину зливка киплячої сталі (приблизно 5–10 %, удвічі менше, ніж у спокійній сталі) зазвичай відрізають і переплавляють.

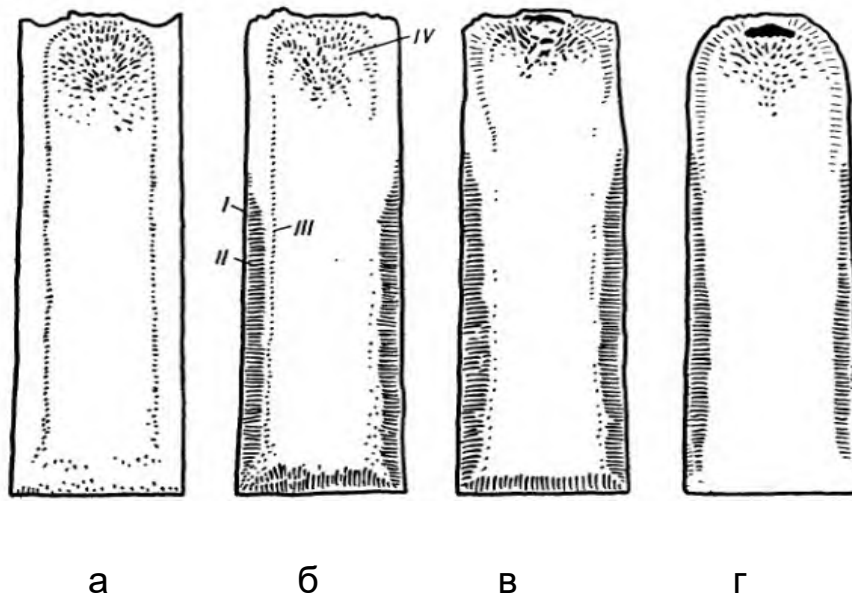


Рисунок 4.7 – Будова зливка киплячої сталі: а – 0,02% С; б – 0,08–0,1% С; в – 0,13–0,15% С; г – 0,17–0,19% С; I – скориночка зливку; II – стільникові пухирці ; III – глибинні пухирці; IV – скупчення округлих газових пухирців в головній частині зливку

Щоб підвищити вихід придатного металу завдяки кращому формуванню зливків спокійної сталі, застосовують утеплення головної частини зливків у виливницях, розширених догори за допомогою стаціонарних або плаваючих прибуткових надставок різних конструкцій.

Стаціонарні прибуткові надставки (рис. 4.8, а, б) встановлюють на

верхній край виливниці. Для виливниць, розміщених на візках, використовують надставки з обмежувальними припливами — замками, що забезпечують правильне встановлення надставки та запобігають її зміщенню під час переміщення составів. Дотичні поверхні виливниці та надставки піддають струганню, щоб мінімізувати зазор між ними — не більше 1,5 мм.

Плаваючі прибуткові надставки виготовляють або керамічними (зазвичай шамотними) без металевого каркаса (рис. 4.8, г), або металевими з внутрішньою футерівкою з вогнетривкої цегли (рис. 4.8, д). Форма надставок може бути сферичною (рис. 4.8, в), конічною або пірамідальною. На більшості металургійних підприємств застосовують металеві надставки, футеровані вогнетривкою цеглою.

Після футерування внутрішню поверхню надставок покривають сумішшю, що складається з 80% шамотного порошку та 20% подрібненої вогнетривкої глини, далі фарбують графітовим розчином на основі сульфітного лугу. Сушіння проводять або за рахунок тепла, накопиченого прибутком від попередньої плавки, або за допомогою спеціальних пальників.

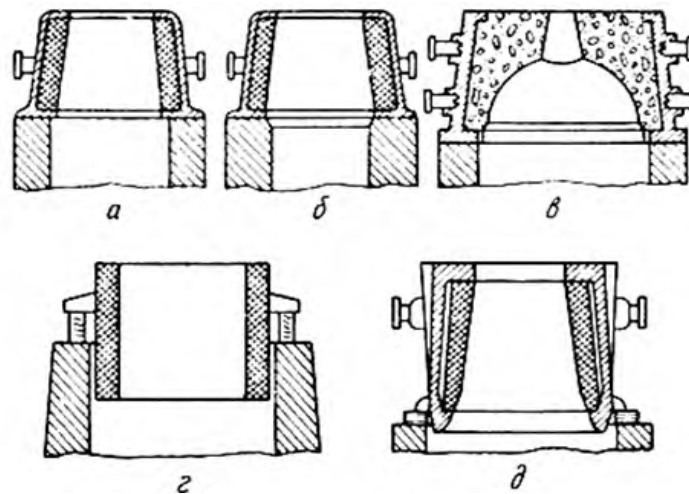


Рисунок 4.8 – Прибуткові надставки для виливниць, розширених догори: а – стаціонарна з підставою, що трохи виступає усередину виливниці; б – стаціонарна з підставою, що трохи відступає від внутрішньої поверхні виливниці й із спеціальною фаскою; в – стаціонарна сферичної форми; г – плаваюча керамічна; д – плаваюча металева футерована



### 4.3 Характерні типи дефектів зливків

Дефекти сталеплавильного походження виникають унаслідок порушення або недосконалості технологічного процесу під час виплавлення, розливання сталі чи подальшої обробки зливків у блюми та катані заготовки (для прокатного виробництва) [16].

Одним із основних дефектів плавки є невідповідність хімічного складу металу заданим нормам, що зазвичай спричинена помилками під час розрахунку шихти, неправильним веденням процесу плавлення або вигорянням окремих елементів сплаву.

Через порушення умов живлення зливків під час кристалізації виникають усадочні раковини та рихлоти.

Усадочні раковини — це великі відкриті або закриті порожнини неправильної форми з грубою, іноді окисненою поверхнею, які зосереджуються у товстих місцях виливків, де метал твердне останнім.


Рихлість — це скупчення дрібних усадочних раковин у зонах із грубозернистою структурою. Такі дефекти виявляють за допомогою акустичних і радіаційних методів контролю.

Деякі типи сталі, наприклад кипляча, спеціально виплавляються так, щоб не всі гази виділялися з металу. Це дозволяє зменшити розміри усадочної раковини, однак може спричинити появу газової пористості. Пористість — це скупчення газових міхурів або дрібних раковин. Газові міхури мають округлу чи овальну форму, часто розташовані під поверхнею зливка і виникають через виділення газів під час охолодження та кристалізації металу, або через їх потрапляння під час розливання. Якщо поверхня пор чи міхурів не окиснена, вони можуть заваритися під час обробки тиском, але в якісних виливках така пористість неприпустима. Для її виявлення використовують методи радіаційного контролю.

Специфічним дефектом литого металу є ліквация — нерівномірність хімічного складу в межах дендритів і зерен [16].

Зональна ліквация проявляється у збагаченні центральних або прибуткових частин зливка сіркою, фосфором і вуглецем, що погіршує механічні властивості сталі.

Дендритна ліквация — це відтискання домішок від осей дендритів до їх периферії, через що вони концентруються на межах кристалів.



Наприклад, у сталі вміст сірки на межах зерен удвічі більший, ніж у центрі, фосфору — у 1,2 раза, а вміст вуглецю зменшується майже наполовину.

Неметалічні включення — ще один поширений тип дефектів, характерний як для зливок, так і для виливків. Це можуть бути включення шлаку, піску, оксидів, сульфідів, силікатів чи нітридів, що утворюються внаслідок взаємодії компонентів металу під час плавлення чи розливання. Такі включення зазвичай мають вигляд ланцюжків або сітки. Якщо їхні розміри перевищують допустимі норми, вони є неприпустимими, оскільки під час обробки тиском лише деформуються, але не усуваються. Виявляють їх за допомогою акустичних, радіаційних і поверхневих методів дефектоскопії [16].


Найнебезпечнішими дефектами є гарячі та холодні тріщини.

Гарячі тріщини мають нерівні, рвані краї та значну ширину. Вони утворюються під час кристалізації у поверхневих шарах зливка через термічні напруження. Такі тріщини зазвичай розташовуються на кутах або гранях виробу — можуть бути поздовжніми, поперечними чи косими залежно від напрямку розтягувальних зусиль, що виникають у процесі твердіння металу.

Внутрішні тріщини виявляють за допомогою радіаційного та акустичного контролю. Їх усувають вирубанням і підварюванням металу з обов'язковою повторною перевіркою для підтвердження відсутності тріщин у зоні ремонту.

Заворот кірки — це підгортання окисненої поверхневої кірки металу всередину зливка по всьому його периметру або на окремих ділянках. Такі дефекти зазвичай мають груповий характер, розташовані поперек зливка і можуть повторюватися по всій висоті виробу. У місцях заворотів немає щілин чи розривів, оскільки підгорнута кірка щільно прилягає до металу. Цей дефект трапляється при різних способах розливання, але найчастіше — при сифонному розливанні металу з низькою температурою або швидкістю [16].

Потьоки — це напливи металу зигзагоподібної форми, що приварилися до поверхні зливка і розташовані по його периметру на різній висоті. Найчастіше вони з'являються разом із заворотами кірки, проте розташовані вище. Потьоки утворюються через потраплення рідкого металу між стінками виливниці та зливком під час розриву поверхневої кірки внаслідок надмірно швидкого розливання.



Сітка розпалу — це дрібні виступи на поверхні зливка, які формують сітчастий малюнок. Вона може супроводжуватися газовими міхурами, неметалевими включеннями або поперечними тріщинами. Її поява залежить від стану внутрішньої поверхні виливниці — зокрема, від наявності дефектів чи нерівностей.

Бугор — це опуклість на поверхні зливка, зазвичай розташована на його гранях. Розміри бугрів можуть сягати кількох десятків або навіть сотень міліметрів, а їхня висота — до кількох десятків міліметрів. Виникають вони в місцях, що відповідають раковинам на внутрішній поверхні виливниці.

Поверхневі раковини з'являються через газові бульбашки, що утворюються біля межі контакту рідкого металу зі стінками виливниці, або внаслідок потрапляння сторонніх часток.

Підіркові бульбашки — це газові порожнини, розташовані близько до поверхні зливка. Вони мають окиснену поверхню через контакт із атмосферним повітрям, тому не заварюються при подальшій обробці тиском [16].

Сотові бульбашки — це групи газових пор, розташовані у вигляді «сот» біля поверхні зливка. Якщо вони не контактують з атмосферою, то можуть заваритися під час обробки тиском; у протилежному випадку — залишаються дефектом.

Пльони — тонкі металеві плівки, що утворюються в нижній частині зливка на початку розливу, коли струмінь металу вдаряється об піддон. Такі плівки не зварюються з основним металом при обробці тиском.

Пояс — дефект, який виникає через розрив струменя рідкого металу при розливанні надто холодної сталі. Утворена окисна плівка розділяє зливки на дві частини, які не з'єднуються навіть під час пластичної обробки.

Флокени — це зони металу з великою кількістю дрібних, звивистих, переплетених тріщин. На зламі вони виглядають як світлі плями з матово-сірим блиском. Схильність сталі до утворення флокенів визначається вмістом водню. Виникають вони внаслідок внутрішніх об'ємно-температурних напружень, які з'являються під час кристалізації зливка та при його охолодженні після прокатки або кування [16].



#### **4.4 Суть безперервної розливки сталі, типи та обладнання машин безперервного лиття заготовки (МБЛЗ), технологія розливки**


Безперервне злиткоутворення, або безперервне лиття (розливання), є одним із найвизначніших досягнень металургії другої половини ХХ століття. За відносно короткий період цей процес набув широкого поширення у світовому сталеплавильному виробництві, докорінно змінивши не лише технологію розливання сталі, а й організацію всього металургійного циклу. Нині приблизно 40% світового обсягу виплавленої сталі розливають за допомогою машин безперервного лиття заготовок (МБЛЗ).

Спершу технологію безперервного лиття застосовували для алюмінію та його сплавів, пізніше – для міді, а згодом і для сталі. Сьогодні вважається, що розливання металу у виливниці при масовому виготовленні злитків одного типорозміру є застарілим і в усіх випадках має замінюватися безперервним литтям. Це стосується як кольорових металів, так і різних марок сталі – від маловуглецевої киплячої до високолегованої.

Переваги безперервного лиття полягають не лише у скороченні тривалості металургійного циклу. Найважливіше – це суттєве підвищення якості металу завдяки його однорідності, що дозволяє зменшити технологічні відходи під час подальшої обробки тиском і стабілізувати технологічні параметри.

Основні переваги безперервного лиття сталі порівняно з розливанням у виливниці:

- Відсутність потреби у великій кількості виливниць, сталерозливальних візків, стріперних кранів, стаціонарних машин для видалення злитків, охолоджувальних і підготовчих установок, центрових і піддонів, а також блюмінгів, слябінгів і, у деяких випадках, заготовочних станів.
- Зменшення експлуатаційних витрат і споживання електроенергії, підвищення виходу придатного металу завдяки скороченню втрат на скрап, усуненню літників і зменшенню обрізі у прокатних цехах.
- Поліпшення якості сталі через зменшення поверхневих дефектів і формування більш рівномірної структури злитка.
- Можливість повної автоматизації процесу.



Для отримання якісної безперервнолитої заготовки необхідно дотримуватись таких технологічних вимог:

- висока чистота металу, що надходить у кристалізатор;
- мінімальний перегрів металу (відносно температури ліквідусу);
- надійний захист від вторинного окислення й потрапляння шлакових частинок;
- ефективне перемішування металу під час кристалізації;
- обробка тиском у процесі формування заготовки.

Виконання цих вимог забезпечує отримання заготовок із більш однорідною кристалічною структурою, ніж при традиційному литті у виливниці. Нині близько 60% усіх заготовок, виготовлених методом безперервного лиття, отримують на слябових МБЛЗ.

Рідка сталь безперервно подається у водоохолоджувальну форму, що називається кристалізатором (рис. 4.9). Перед початком заливання всередину кристалізатора вводять спеціальний пристрій із замковим захопленням — «запал» або «затравку», який виконує роль тимчасового дна для першої порції металу. Після того як початкова частина металу твердне, затравку поступово витягують із кристалізатора, при цьому вона захоплює за собою сформований зливочок.

Подача рідкого металу продовжується безперервно, тому зливочок постійно нарощується. Такий процес злиткоутворення дозволяє отримувати заготовки практично необмеженої довжини. У порівнянні з традиційним литтям у виливниці, при цьому значно скорочуються втрати металу на обрізку кінців зливків, які, наприклад, при виробництві спокійної сталі становлять 15–25% (рис. 4.10).

Крім того, безперервність процесу лиття та кристалізації забезпечує високу однорідність структури зливка по всій його довжині.

Для виробництва безперервних заготовок використовуються МБЛЗ, побудовані за різним важливим схемам. Промислове застосування отримали: вертикальні, вертикальні із вигином, повністю затверділа, заготівлі, радіальні, криволінійні, криволінійні з прямим, кристалізатором, горизонтальні, похилокриволінійні (рис. 4.11).

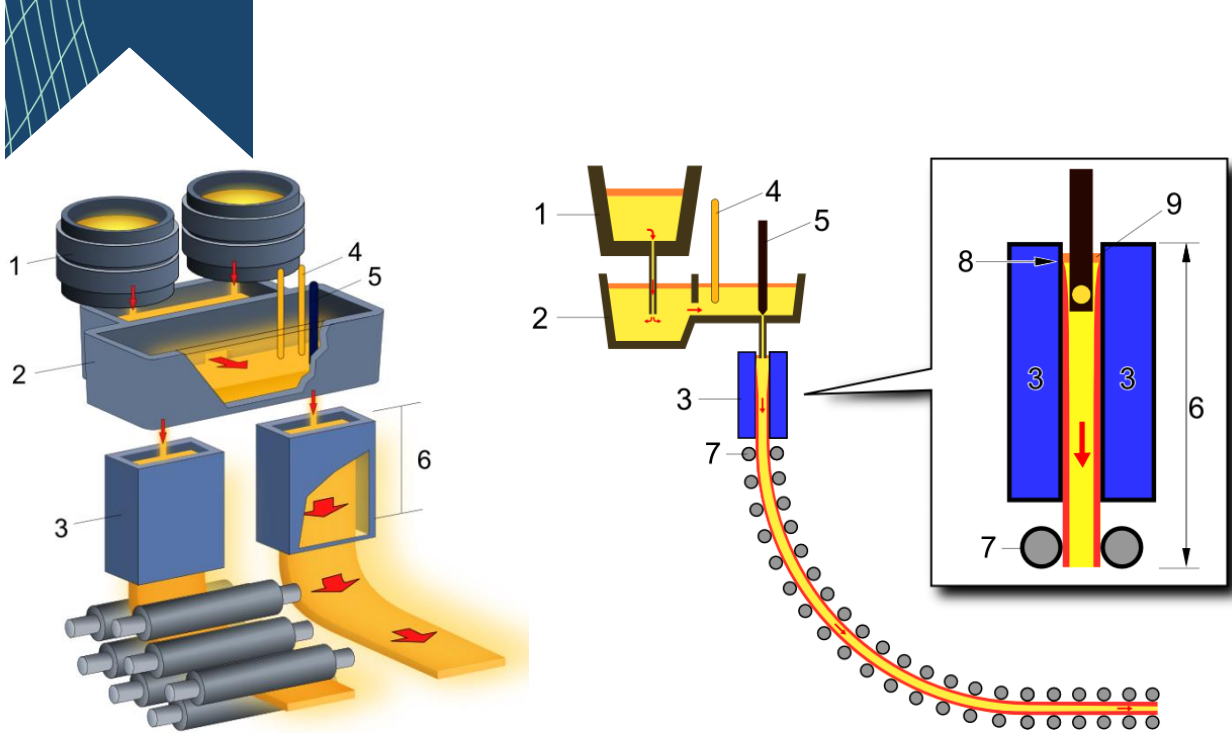


Рисунок 4.9 – Схема МБЛЗ: 1 — сталерозливний ківш, 2 — проміжний ківш, 3 — мідяний кристалізатор, 4 — нагрівальний пристрій для підтримки температури, 5 — стопор, 6 — зона первинного охолодження і початку кристалізації, 7 — ролики, що тягнуть зливоч, 8 — зона початку кристалізації, 9 — рівень рідкого металу

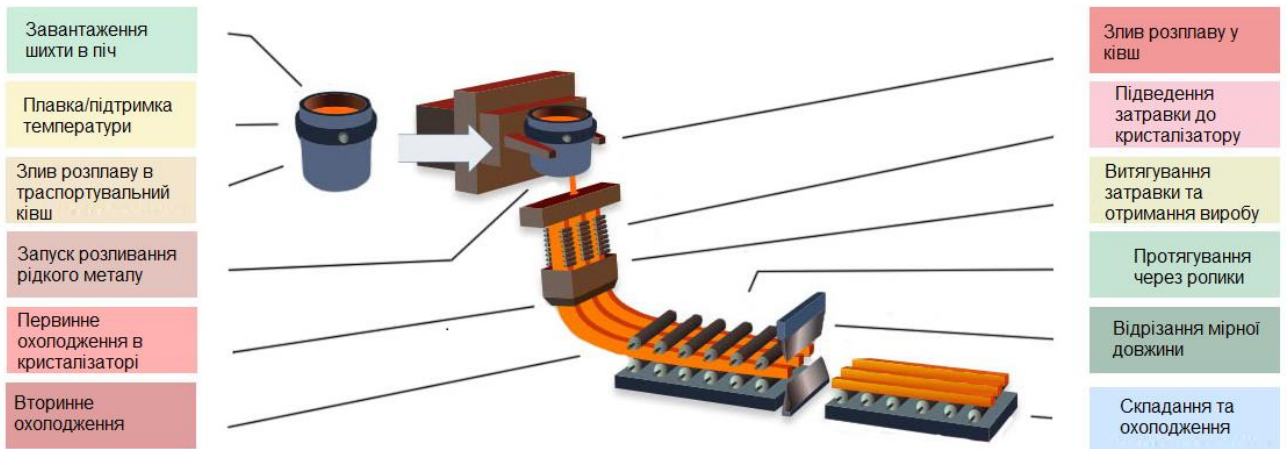


Рисунок 4.10 – Технологія безперервного лиття заготовки

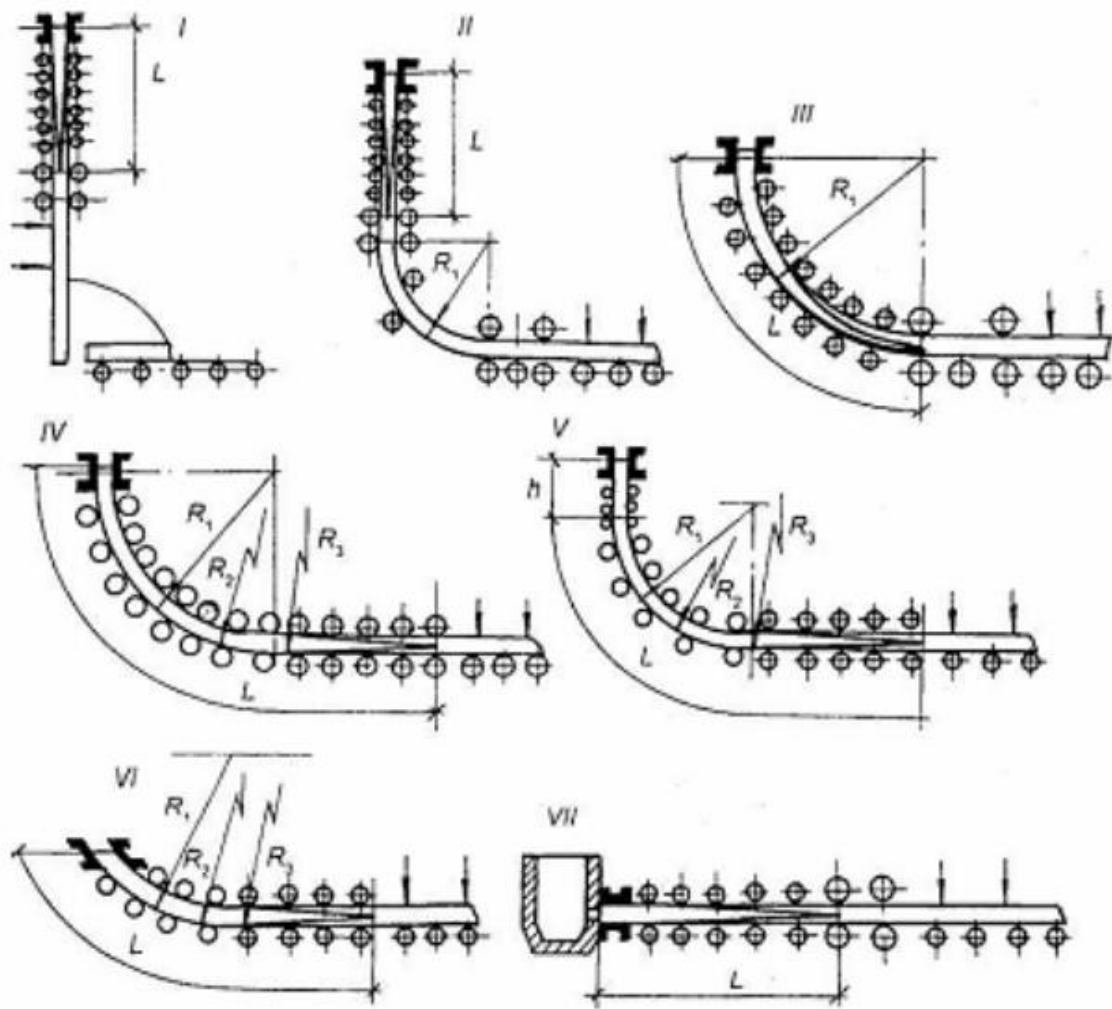



Рисунок 4.11 – Принципові схеми промислових МБЛЗ: I - Вертикального типу; II - Вертикального типу з вигином заготовок; III - Радіального типу; IV - МБЛЗ криволінійного типу; V- криволінійного типу із прямим кристалізатором; VI - похило-криволінійного типу; VII – горизонтального типу; L - металургійна довжина, R, - базовий радіус МБЛЗ, R2, Rz - радіуси випрямлення зливка, що відливається

Промислове впровадження безперервного лиття почалося з вертикальних машин, у яких кристалізатор, роликівий конвеєр, тягучі та ріжучі пристрої розташовувалися по вертикалі на висоті 23–35 м, а іноді й до 43 м. Вертикальні машини дозволяють отримувати злитки високої якості, проте їх широкому використанню перешкоджали значні недоліки: велика висота й низька швидкість лиття. Для зменшення висоти будівлі та забезпечення подачі сталерозливальних ковшів кінцеву частину



вертикальних МБЛЗ розташовували у залізобетонному колодязі. Це підвищувало вартість будівництва й вимагало складних систем виведення заготовок із колодязя.

Підвищити швидкість лиття на вертикальних машинах шляхом збільшення довжини зони кристалізації неможливо, оскільки зростання висоти спричиняє високий феростатичний тиск, який викликає випинання та руйнування скоринки злитка з проривом рідкої фази. Створення машин із вигином злитка на виході з тягучого пристрою та переводом його в горизонтальну площину ускладнило конструкцію й не значно зменшило висоту. Сьогодні вертикальні МБЛЗ із вигином не встановлюють, за винятком машин для лиття пустотілих трубних заготовок і спеціальних профільних злитків, де це обумовлено особливостями кристалізації металу.

Горизонтальні машини через недостатню відпрацьованість вузлів і технології не отримали широкого поширення, проте їхні переваги — мінімальна висота та відсутність деформацій злитка під час лиття — роблять їх перспективними.

Найбільш поширені радіальні машини (рис. 4.12), які відрізняються від вертикальних і машин із вигином меншою висотою та більш високою швидкістю лиття. Підвищення продуктивності в радіальних машинах досягають за рахунок подовження зони кристалізації шляхом збільшення радіуса технологічної осі; при цьому збільшення радіуса й висоти машини на одиницю довжини дає в 1,5 рази більшу довжину радіальної ділянки.

МБЛЗ бувають одно- та багатострумкові — до 8 струмків, тобто злитків, що розливаються одночасно.

Незалежно від схеми безперервного розливання машини обов'язково містять наступні елементи.

Сталерозливний стенд (рис. 4.13) призначений для установки двох сталерозливних ковшів, переведення їх із резервного положення у робоче, зважування та утримання під час розливання. Існують пересувні стенди кранового типу, які переміщують ковші з прольоту в проліт, а також підйнятно-поворотні стенди.

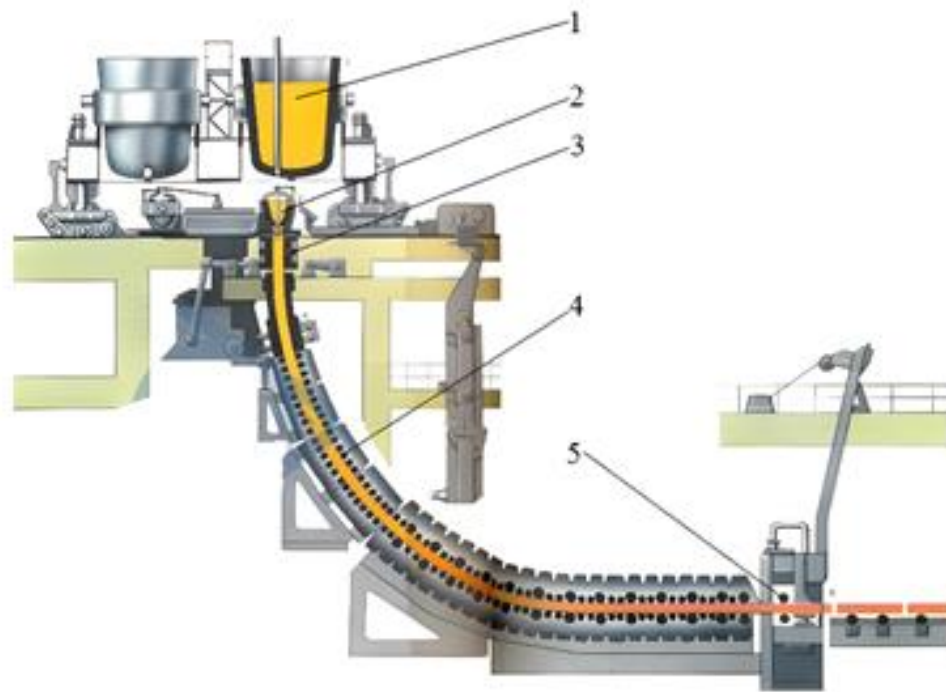


Рисунок 4.12 – Схема МБЛЗ радіального типу: 1 – розливний стенд, 2 – проміжний ківш, 3 – кристалізатор, 4 – роликові проводки приводні та не приводні, 5 – тягнуча кліть

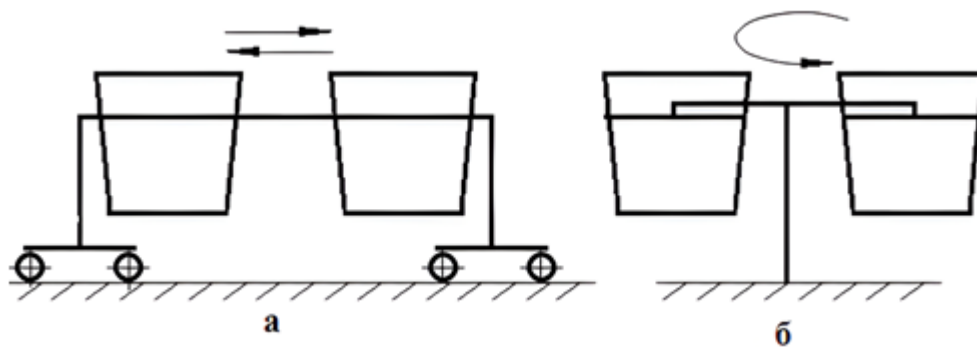


Рисунок 4.13 – Типи розливних стендів: а – пересувний; б – поворотний

Проміжний ківш забезпечує розливання металу протягом 3–4 хвилин після припинення подачі зі сталерозливного ковша. Він складається з корпусу та кришки, зварених із металу та футерованих вогнетривкими матеріалами. Сталь подається у кристалізатор через отвори в днищі, закриті стопорами, кількість яких залежить від числа струмків. Проміжний

ківш регулює надходження металу у кристалізатор, забезпечує його подачу організованим струменем і дозволяє одночасно розливати сталь у кілька кристалізаторів. Він також виконує роль буферної ємності, узгоджуючи роботу сталерозливального ковша та кристалізатора.

Переміщення проковша до МБЛЗ здійснюється спеціальним транспортним візком, а у разі зносу футеровки або переходу на іншу марку сталі його замінюють новим проковшем, поданим іншим візком.

Кристалізатор (рис. 4.14) служить для інтенсивного відведення тепла від корки зливка, що формується, щоб вона могла утримувати тиск внутрішньої рідкої фази при виході з кристалізатора. Він складається з окремих секцій із внутрішніми мідними стінками для високої теплопровідності та зовнішніми сталевими стінками. Секції з'єднані шпильками, а між ними циркулює вода для охолодження. Чотири стінки кристалізатора є рухомими для регулювання розмірів зливка. Основний конструктивний параметр кристалізатора — його довжина, яка залежить від перетину зливка та зазвичай становить 700–1500 мм на діючих МБЛЗ.

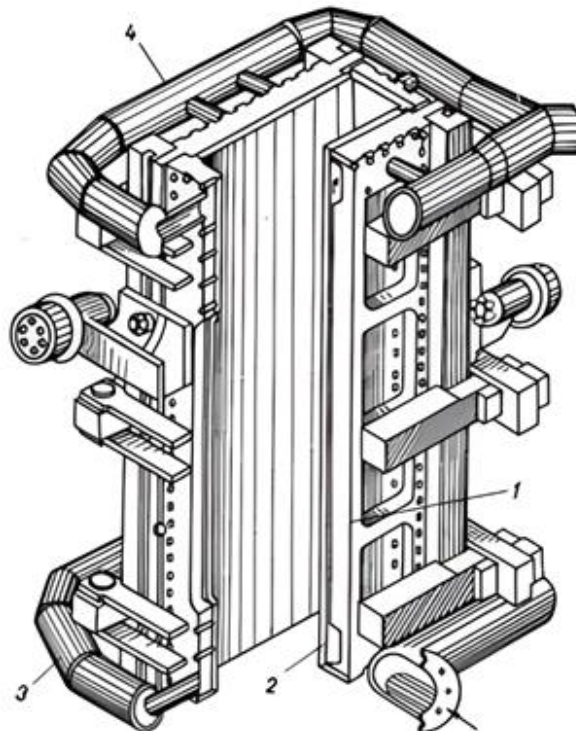


Рисунок 4.14 – Схема кристалізатора МБЛЗ: 1 - сталевий кожух; 2 - внутрішня мідна стіна; 3 - патрубок, що підводить воду; 4 - патрубок, що відводить воду [17]

Для зменшення тертя та запобігання вторинному окисненню між зливком і стінками кристалізатора подається мастило у вигляді масел, парафіну або шлакових сумішей. Досвід експлуатації показав, що прилипання кірки до стінки та її викривлення може спричинити зависання зливка, розриви кірки, погіршення поверхні та аварійні ситуації під час розливання. Щоб уникнути зависання, полегшити подачу мастила та забезпечити заварювання розривів кірки, кристалізатор отримує зворотно-поступальний рух за допомогою механізму хитання.

Зона вторинного охолодження приймає злиток із кіркою, сформованою в кристалізаторі, та рідким ядром. Вона обладнана пристроями для подачі охолоджувача та утримання кірки від випучування під тиском рідкої фази. У цій зоні на МБЛЗ застосовуються підтримувальні пристрої трьох типів: нерухомі брусів, екранні та рухомі брусів (крокуючі брусів), а також роликові проводки.

Нерухомі брусів підтримувальні пристрої (рис. 4.15) виконані у вигляді брусів, розташованих паралельно граням зливка в напрямку його витягання. Зазвичай їх виготовляють із чавуну, товщиною 70–80 мм, з відстанню між осями близько 200 мм. Контактна поверхня часто футерується зносостійким матеріалом. Конструкція проста й жорстка, легко обслуговується, але має суттєві недоліки: високі сили тертя при витяганні, інтенсивне та нерівномірне зношення, а також обмежену подачу води на злиток лише між брусами. Через це брусів пристрої сьогодні застосовують лише у вигляді коротких секцій під кристалізатором.

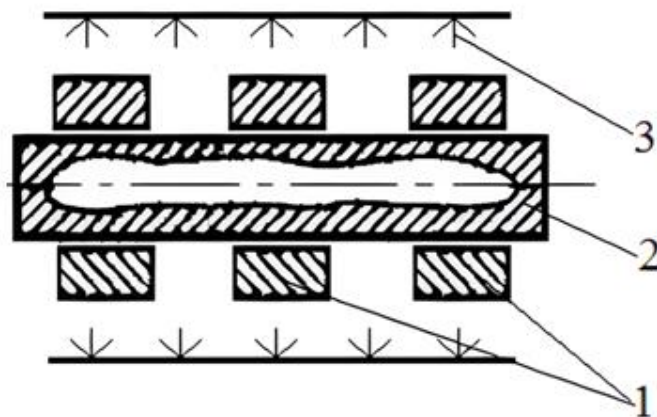


Рисунок 4.15 – Брусів система підтримки оболонки зливка:  
1 – брусів; 2 – злиток; 3 – форсунки для подавання води

Екранні підтримувальні пристрої розташовані під кристалізатором і виконуються у вигляді плоских плит або ґрати із відбіленого чавуну, що контактують з гранями злитка. У плитах передбачені отвори для подачі води на поверхню злитка.

Рухомі брусові підтримувальні пристрої були розроблені для криволінійних МБЛЗ. Крокуючі бруси виготовляються порожнистими та водоохолодними, повторюють радіус кривизни злитка і прикладають додаткове зусилля під кристалізатором. Бруси роблять невеликі переміщення у протилежних напрямках, після чого повертаються у вихідне положення, при цьому не торкаючись поверхні зливка. Основною перевагою є зменшення контактної тертя, однак через складність конструкції та обслуговування вони не отримали широкого поширення.

Роликові підтримувальні пристрої (проводки) складаються з холостих або приводних роликів із горизонтальною віссю обертання, перпендикулярною до напрямку витягання злитка (рис. 4.16). На відміну від брусових, вони створюють менший опір, зношуються повільніше та не залишають подряпин на поверхні злитка. Проводки можуть бути однорядними або дворядними, із зовнішнім роликом як опорним, а внутрішнім — підтримувальним. Ролики часто монтують секційно у вальничних опорах рам. Недоліком є передача навантаження на рами, що потребує їх масивності, а також нерівномірне навантаження роликів у секції через неточності монтажу, що призводить до їхньої поломки.

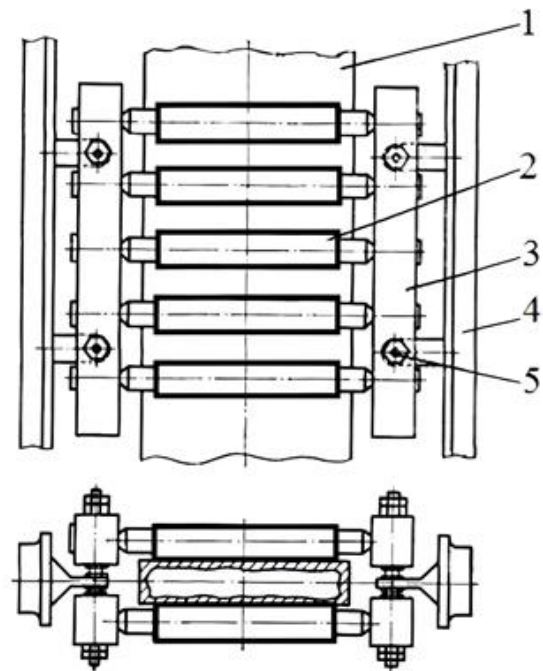




Рисунок 4.16 – Схема підтримувального пристрою зони вторинного охолодження з секційною установкою роликів: 1 – зливки; 2 – ролики; 3 – рами закріплення опор роликів; 4 – нерухомі колони фіксації вузьких сторін злитка; 5 – стяжні елементи



У сучасних МБЛЗ підтримувальні пристрої здебільшого виконуються з індивідуально встановленими роликами на базових металоконструкціях із запобіжними елементами для захисту від перевантажень.

### **Питання до самоконтролю:**

1. У чому полягає мета процесу розливання сталі?
2. Які основні вимоги висуваються до процесу розливання?
3. Як пов'язані якість розливання та якість готового металу?
4. Які основні типи ковшів використовуються для розливання сталі?
5. Як підготовлюють ківш перед заливанням сталі?
6. Які основні методи розливання сталі застосовуються у сучасній металургії?
7. У чому полягає відмінність між розливанням у виливниці та безперервним розливанням?
8. Які переваги має безперервне розливання порівняно з періодичним?
9. В яких випадках доцільно застосовувати розливання у форми-виливниці?
10. Як вибір способу розливання впливає на структуру й властивості металу?
11. Яке основне обладнання входить до складу розливної ділянки?
12. Яке призначення сталерозливного ковша та які його конструктивні особливості?
13. Яке значення мають пробковий затвор, сифонна система та стопорний механізм?
14. Як забезпечується рівномірне заповнення виливниць або кристалізаторів?
15. Які матеріали використовують для футеровки сталерозливних ковшів?
16. У чому полягає технологія розливання сталі у виливниці?
17. Які бувають схеми заливання сталі у виливниці — сифонна, верхня, донна?
18. Які переваги та недоліки має кожна з цих схем?
19. Як здійснюється видалення шлаку перед заливанням сталі?

- 
20. Які дефекти можуть виникати під час розливання у виливниці та як їх запобігти?
  21. Які основні операції передують розливанню сталі у виливниці?
  22. Яке призначення має змащення та підігрів виливниць?
  23. Які матеріали застосовують як покриття для запобігання пригоранню сталі?
  24. Як забезпечується рівномірне охолодження виливниць після заливання?
  25. Як стан виливниць впливає на якість зливків?
  26. У чому полягає принцип безперервного розливання сталі (БРС)?
  27. Які основні вузли має установка для безперервного розливання?
  28. Як відбувається формування зливка в кристалізаторі?
  29. Яке призначення проміжного ковша у схемі безперервного розливання?
  30. Як здійснюється охолодження сталі в зоні вторинного охолодження?
  31. Як підтримується стабільний рівень сталі в кристалізаторі?
  32. Які фактори впливають на швидкість розливання?
  33. Як здійснюється регулювання температури металу перед подачею в кристалізатор?
  34. Які дефекти можуть виникати під час безперервного розливання (тріщини, пори, шлакові включення)?
  35. Які заходи запобігають утворенню цих дефектів?
  36. Яке призначення вторинного охолодження у процесі БРС?
  37. Які середовища використовуються для охолодження сталі (вода, повітря, туман)?
  38. Як впливає інтенсивність охолодження на структуру та властивості сталі?
  39. Яким чином здійснюється різання безперервного зливка?
  40. Які переваги має автоматизоване різання порівняно з механічним?
  41. У чому полягають головні економічні та технологічні переваги безперервного розливання?



## ТЕМА 5. ТЕОРЕТИЧНІ ЗАСАДИ ПРОКАТНОГО ВИРОБНИЦТВА

### 5.1 Загальна характеристика процесів обробки металів тиском

Обробка металів тиском базується на використанні однієї з ключових властивостей металів — пластичності. Вона проявляється у незворотній зміні форми та розмірів металевого тіла під дією зовнішніх сил без порушення його цілісності, що супроводжується зміною структури та механічних характеристик матеріалу.

Пластична деформація відбувається за рахунок переміщення атомів один відносно одного на відстані, більші за міжатомні, у межах однієї кристалографічної площини. На відміну від пружної, при пластичній деформації відсутня лінійна залежність між напруженнями та деформаціями.

Для вирішення практичних завдань, пов'язаних із міцністю та жорсткістю конструкцій, необхідно знати механічні характеристики матеріалів, зокрема їх міцність і пластичність. Для цього матеріали піддають випробуванням на розтяг, стиск, згин, кручення, зсув та інші види навантажень. Зразки для таких випробувань виготовляють за встановленими стандартами щодо форми, розмірів та способів виготовлення. Іноді проводять натурні випробування, коли готовий виріб чи конструкційний елемент піддають навантаженню, що відповідає реальним умовам експлуатації.

Серед широкої номенклатури випробувань матеріалів одне з основних місць займають випробування на розтяг. Вони дозволяють визначити ключові механічні характеристики конструкційних матеріалів. Для цього використовують спеціальні розривні машини з електромеханічним або гідравлічним приводом, оснащені захватами для фіксації зразка та системами вимірювання і реєстрації експериментальних даних. Сучасні розривні машини (рис. 5.1), як правило, забезпечені високоточними комп'ютерними системами збору та обробки інформації, засобами візуалізації результатів і підтримують широкий діапазон режимів навантаження.

Під час випробувань на розтяг вимірюють силу, прикладену до зразка в конкретний момент, та відповідне абсолютне видовження. Для цього

машини оснащуються динамометрами та засобами для точного вимірювання деформацій.



а )



б )

Рисунок 5.1 – Розривні машини: а) INSTRON (США); б) MTS (США)

## 5.2 Діаграма деформування (розтягу)

Діаграма розтягу — це графічне зображення залежності між напруженням і деформацією матеріалу під час випробування на розтяг. Вона дозволяє візуально оцінити, як матеріал реагує на прикладене навантаження від початку до моменту руйнування (рис. 5.2).

Основні характеристики діаграми розтягу:

1. Напруження ( $\sigma$ ) – сила, прикладена до одиниці площі поперечного перерізу зразка (звичайно в МПа або Н/мм<sup>2</sup>).
2. Відносна деформація ( $\epsilon$ ) – відношення зміни довжини зразка до його початкової довжини, зазвичай у відсотках.

Границя пропорційності — це максимальне напруження, яке прикладається до зразка матеріалу, при якому він поводить себе як пружний і залежність між напруженням та деформацією описується лінійно, тобто законом Гука. Після досягнення цієї точки закон Гука більше не виконується.



Границя пружності — це найбільше механічне напруження, яке матеріал витримує без виникнення залишкової деформації після розвантаження.

Границя плинності — в прикладній механіці визначається як умовне напруження  $\sigma_t$ , при якому зразок починає пластично деформуватися без значного збільшення навантаження. Вона є ключовою характеристикою для оцінки міцності пластичних матеріалів, зокрема сталей.

Діаграму розтягу використовують для оцінки механічних властивостей матеріалів для конструювання деталей та вибору матеріалу за міцністю і пластичністю; контролю якості металів на виробництві; для наукових досліджень та моделювання поведінки матеріалів під різними умовами навантаження; для проєктування конструкцій з урахуванням допустимих деформацій і запасу міцності.

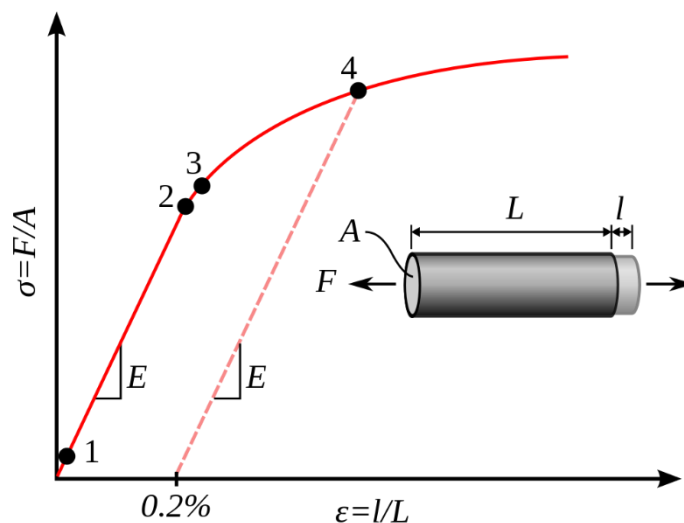


Рисунок 5.2 – Діаграма розтягу металевого матеріалу: 1 - Границя істинної пружності; 2 - Границя пропорційності; 3 - Границя пружності; 4 - Границя плинності умовна,  $\sigma_{0,2}$

Фізична суть пружної деформації полягає у невеликому відносному зміщенні атомів у кристалічній ґратці, які після зняття навантаження повертаються на свої початкові позиції (рис. 5.3, а). Пластична деформація базується на явищі зсуву вздовж кристалічних площин (рис. 5.3, б-в), завдяки чому тіло набуває заданої форми та розмірів. Загальна пластична деформація полікристалічного матеріалу складається

з внутрікристалічної та міжкристалічної деформацій. На відміну від пружної, пластична деформація є залишковою, тобто зберігається після зняття навантаження. Вона пов'язана з переміщенням атомів у кристалах на відносно великі відстані, що призводить до стійких змін форми, структури та властивостей матеріалу без порушення його суцільності.

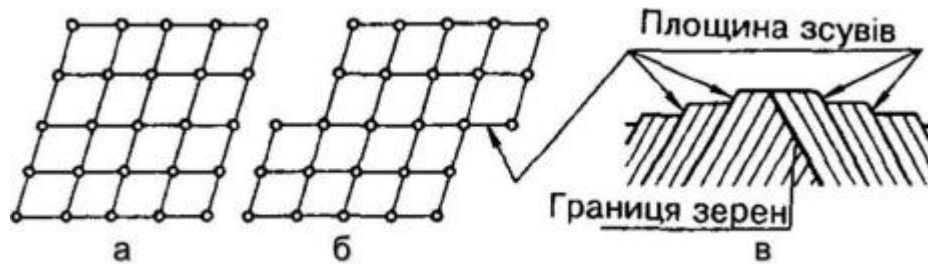



Рисунок 5.3 - Механізм пружної (а) та пластичної (б, в) деформації

Пластична деформація, на відміну від пружної, є залишковою і залишається після зняття навантаження. Вона пов'язана з переміщенням атомів усередині кристалів на відносно великі відстані й викликає залишкові зміни форми, структури і властивостей без макроскопічних порушень суцільності металу.

### 5.3 Закони пластичного деформування

Ці закони складають основу теорії обробки металів тиском:

- Закон незмінності об'єму металу – стверджує, що об'єм матеріалу до та після деформації залишається незмінним. На його основі виконуються розрахунки заготовок та визначаються перехідні форми при різних операціях обробки тиском.
- Закон подібності – визначає, що при пластичній деформації геометрично подібних тіл з однакового матеріалу за однакових умов відношення деформаційних зусиль пропорційне квадрату лінійних розмірів, а відношення виконаної роботи – кубу цих розмірів. Цей закон дозволяє моделювати процеси обробки тиском.
- Закон найменшого опору – передбачає, що кожна точка деформованого тіла, здатна переміщуватися в різних напрямках, рухається у напрямі найменшого опору. Використання цього закону



допомагає раціонально обирати форму перерізу заготовок для конкретних умов обробки.

Варто враховувати, що в реальних умовах деформації деякі фактори, наприклад, контактне тертя між інструментом і заготовкою, можуть призводити до відхилень від цих теоретичних закономірностей.

#### 5.4 Зміна структури матеріалів при обробці тиском

Зерна подрібнюються та витягуються в напрямку пластичного деформування металу при зростанні ступеня деформації. Волокниста структура утворюється при значній деформації матеріалу. Структура матеріалу до і після деформації наведена на рис. 5.4.

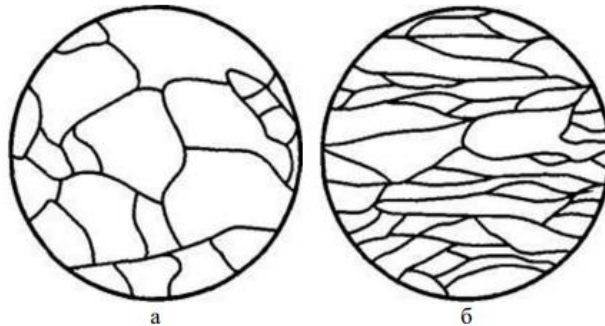


Рисунок 5.4 - Структура матеріалу до (а) і після (б) деформації

Зерна металу подрібнюються та витягуються в напрямку пластичного деформування із збільшенням ступеня деформації. При значних деформаціях формується волокниста структура. На рис. 4 показана структура матеріалу до і після деформації. У полікристалічному тілі зсув відбувається спочатку в тих зернах, де дотичні напруження досягають максимуму. При цьому зерна дробляться, деформуються і орієнтуються відповідно до напрямку навантаження. Орієнтована структура, що виникає після пластичної деформації, називається текстурою. Наявність текстури або волокнистої структури надає металу анізотропію властивостей, тобто механічні характеристики залежать від напрямку прикладеного навантаження. Наприклад, розрив уздовж волокон вимагає більшого напруження, ніж у поперечному напрямку.

Волокнистість: зерна та міжкристалічні прошарки з підвищеним вмістом неметалевих включень витягуються в напрямку найбільших розтягувальних деформацій, утворюючи волокнисту або смугасту структуру. Волокнистість впливає на механічні властивості та спричинює їх анізотропію: ударна в'язкість у поперечному напрямку зменшується на 50–70%, відносне звуження – на 40%, а відносне видовження – на 20% порівняно з уздовж волокон. При проектуванні та виготовленні деталей необхідно враховувати напрямок волокон, розташовуючи їх так, щоб найбільші розтягувальні напруження діяли вздовж волокон, а перерізні зусилля – поперек. Бажано, щоб волокна на поверхні деталі повторювали її обрис. Якщо потрібно підвищити пластичність металу в поперечному напрямку, заготовку слід обтискати вздовж волокон, змінюючи схему деформації. Найбільш рівномірну волокнисту структуру досягають при схемі головних деформацій з одним напрямом розтягування і двома напрямками стискування.

Перекручування кристалічних ґраток супроводжується підвищенням міцності та твердості металу, але знижує його пластичність. Це явище називається наклепом (нагартовкою). Якщо метал, підданий наклепу, нагріти вище певної температури, починається процес утворення нових кристалітів на місці деформованих, що відновлює початкові механічні властивості матеріалу. Цей процес називається рекристалізацією (рис. 5.5).

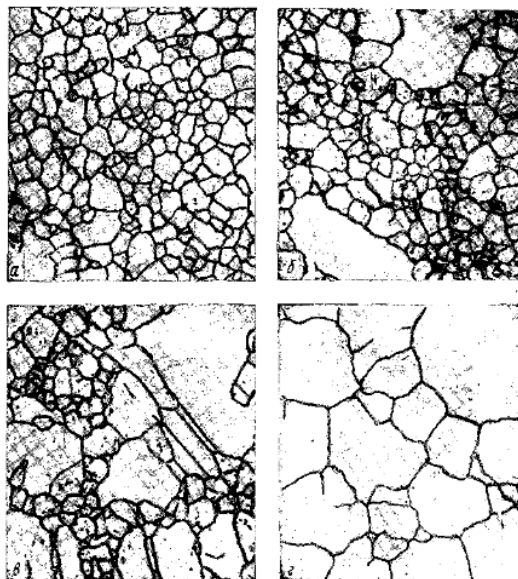


Рисунок 5.5 – Процес росту зерна



## 5.5 Вплив факторів на процеси обробки тиском металів

Пластичність зменшується при підвищенні швидкості деформування під час гарячої обробки тиском внаслідок відставання знеміцнення від зміцнення.


Хімічний склад і структура матеріалу також впливають на пластичність. Чисті метали мають найбільшу пластичність, а сплави мають меншу пластичність. Однофазові сплави зі структурою твердих розчинів є більш пластичні, ніж багатофазові. Пластичність сталі зменшується при підвищенні вмісту вуглецю в сталях. Вуглецеві сталі з вуглецем понад 1,5%, практично не обробляються тиском. Пластичність вуглецевих сталей знижує кремній і марганець. Сталям із підвищеним вмістом сірки властива червоноламкість (схильність до крихкого руйнування під час гарячого деформування). Фосфор спричиняє крихке руйнування (явище холодноламкості) під час холодного деформування при низьких температурах. Оксиди ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ;  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  і  $\text{FeO}$ ), нітриди ( $\text{Fe}_2\text{N}$  і  $\text{Fe}_4\text{N}$ ) й флокени (водень) знижують пластичність сталей.

Напружений стан. Метал стає пластичнішим зі збільшенням напружень стиску й зменшенням напружень розтягу.

Домішки, як правило, знижують пластичність, причому домішки, створюючи з металом тверді розчини, знижують пластичність менше ніж домішки, що розчиняються в ньому. Особливо помітно знижують пластичність домішки, які розшаровуються при кристалізації по межах зерен. Наклеп знижує пластичність металу.

Температура. Пластичність металу збільшується, а опір деформуванню зменшується при підвищенні температури. Пластичність зменшується у вуглецевих сталей при температурах 100 – 300°C і 727 – 900°C внаслідок виділення карбідів і утворення нових фаз під час деформування. Збільшення температури може зменшувати пластичність внаслідок надмірного росту зерен (перегрів) або окислення границь зерен (перепал).

Залежно від температур, швидкісних умов при деформуванні можуть відбуватися два протилежних процеси: зміцнення, викликане деформацією, і втрата міцності, обумовлена рекристалізацією. Відповідно до цього розрізняють холодну і гарячу деформацію. Холодне деформування відбувається при температурах нижче температури



рекристалізації і супроводжується наклепом металу. Гаряче деформування протікає при температурах, вищих температури рекристалізації. При гарячій деформації також відбувається зміцнення металу (гарячий наклеп), але воно цілком знімається в процесі рекристалізації. При ній пластичність металу вища, а опір деформації приблизно в 10 разів менший, ніж при холодній деформації. Деформація, після якої відбувається тільки часткова втрата міцності, називається неповною гарячою деформацією.

## 5.6 Види обробки металів

Методи формоутворення при обробці металів тиском здебільшого є об'ємними. Вони можуть виконуватись одноразово, послідовно або періодично, а також бути статичними чи динамічними.

Оскільки при обробці тиском форма виробу досягається шляхом пластичного переміщення частинок металу, цей метод відзначається раціональним використанням матеріалу та мінімальними відходами. Це є основною відмінністю та перевагою обробки тиском порівняно з обробкою різанням, де форма виробу формується шляхом видалення частини заготовки.

До основних видів обробки металів тиском належать:

- Прокатка – обтискання металу обертовими валками (рис. 5.6, а). Цей метод дозволяє отримувати вироби з однаковим поперечним перерізом по довжині (прутки, дріт, рейки, листи, труби) або з періодично змінюваною формою.
- Пресування – витискання нагрітого металу із замкненої порожнини крізь отвір у матриці (рис. 5.6, б). Форма та розміри поперечного перерізу пресованих виробів визначаються конфігурацією та розмірами отвору матриці.
- Волочіння – протягування заготовки через отвір у волочильній матриці-волоці (рис. 5.6, в). Цим способом виготовляють тонкі сорти дроту, калібровані прутки та тонкостінні труби.
- Кування – деформування нагрітої заготовки між бойками молота або преса (рис. 5.6, г). Зміна форми та розмірів заготовки досягається послідовною дією бойків або інструмента на різні ділянки.
- Об'ємне штампування – одночасна деформація всієї заготовки в спеціальному інструменті (штампі) на молотах, пресах або



горизонтально-кувальних машинах (рис. 5.6, д). Конфігурація та розміри внутрішньої порожнини штампа визначають форму та розміри виробу.

- Листове штампування – виготовлення плоских або об'ємних порожнистих деталей із листового або стрічкового матеріалу за допомогою штампів на холодноштампувальних пресах (рис. 5.6, е).

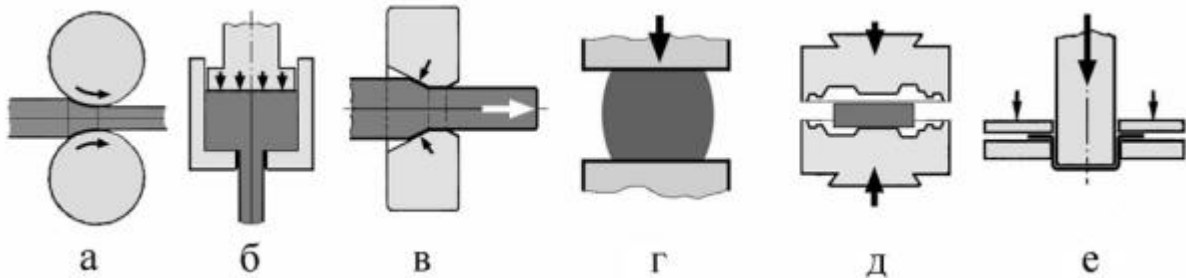



Рисунок 5.6 – Схеми основних видів обробки металів тиском

Пресування – це процес витіснення металу з замкнутого об'єму крізь отвір у матриці. Профіль готового виробу відповідає перерізу цього отвору. Цей метод є високопродуктивним і економічним способом обробки металів та сплавів, дозволяє отримувати як суцільні, так і порожнисті профілі. Пресовані вироби зазвичай мають більшу точність порівняно з катаними.

Пресування відбувається за схемою всебічного стискання, завдяки чому метал набуває максимальної пластичності. Це дозволяє обробляти як пластичні, так і малопластичні матеріали, такі як мідні, алюмінієві, магнієві, титанові сплави, а також вуглецеві та легovanі сталі. До недоліків процесу належать значні втрати металу (іноді до 40%) та інтенсивне зношування інструменту.

Пресуванням виготовляють прутки діаметром 5–250 мм, дрід 5–10 мм, труби зовнішнім діаметром 20–400 мм зі стінками товщиною 1,5–12 мм та інші вироби. Завдяки гнучкості та простоті переналагодження на виготовлення іншого профілю, пресування доцільніше застосовувати для малих серій виробів, ніж прокатування. Вихідною заготовкою для процесу є зливки або круглий прокат. Розрізняють пряме і зворотне пресування.

Волочіння полягає у протягуванні (частіше в холодному стані) прокатаних або пресованих заготовок крізь отвір у матриці (волоці), переріз якого менший за переріз заготовки. Під час протягування заготовка зазнає



обтискання через сили реакції. Щоб уникнути обривів, напруження при волочінні не повинно перевищувати 0,6 границі міцності матеріалу. Для досягнення необхідних розмірів профіль обробляють у кілька проходів через ряд поступово звужуваних отворів.


Холодне пластичне деформування при волочінні спричиняє зміцнення металу. Для усунення наклепу і підвищення пластичності застосовують проміжний рекристалізаційний відпал. Волочінням виготовляють дріт діаметром 0,002–10 мм, різноманітні профілі, калібровані прутки 3–150 мм та холодноотягнені труби діаметром до 500 мм зі стінками 0,1–10 мм. Цей процес забезпечує високу точність виробів та якісну поверхню, а наклеп підвищує міцність і твердість металу.

Інструментом для волочіння є волочильна матриця (волока), яка може бути суцільною, складною або роликовою.

Кування – це процес деформування нагрітої заготовки між верхнім і нижнім бойками молота або преса із застосуванням універсального інструменту. Існує також ручне кування на кувалді, яке здебільшого використовується для дрібних ремонтних робіт. Ковані заготовки, призначені для подальшої обробки, називаються поковками, маса яких може становити від 0,1 кг до 300 т. Великі поковки (понад 1,5 т) виготовляють виключно куванням із зливків, тоді як менші можна отримувати і шляхом штампування, але через складність інструменту штампування застосовують переважно в масовому або великосерійному виробництві. Для серійного виготовлення невеликих поковок (до 150 кг) підвищеної точності часто використовують підкладні штампи. Дрібні й середні поковки виготовляють із сортового прокату або блюмів.

Для створення складних поковок виконують основні операції кування у певній послідовності:

- Протягування (витягування) – подовження заготовки та зменшення її перерізу;
- Осадка – збільшення поперечного перерізу за рахунок зменшення висоти заготовки;
- Прошивання – формування наскрізного отвору або заглиблення;
- Згинання – виготовлення гаків, колінчастих валів, скоб тощо з використанням підкладок і спеціальних пристроїв;

- 
- Закручування – поворот частини заготовки відносно іншої на певний кут;
  - Рубання – поділ заготовок на частини, видалення надлишку металу та формування уступів (надрубання).

Об'ємне штампування передбачає виготовлення поковок у штампах, де метал під час деформування обмежений поверхнями порожнини штампа. Робоча порожнина штампа в кінці процесу відповідає конфігурації поковки.

Порівняно з вільним куванням об'ємне штампування має такі переваги:


- продуктивність у 50–100 разів вища;
- поковки більш однорідні та точні (припуски і допуски у 3–4 рази менші);
- можливість виготовлення складних форм без напусків та з високою якістю поверхні;
- сприятливе розташування волокон металу.

На одному штампі можна виготовити 10–25 тис. поковок залежно від матеріалу та типу виробу. Недоліки об'ємного штампування: складність і висока вартість штампів, обмеження маси поковок (0,3–100 кг) через високі зусилля деформування, що робить його ефективним переважно для масового і великосерійного виробництва.

Гаряче об'ємне штампування виконують на молотах, пресах, горизонтально-кувальних машинах та спеціалізованих пристроях (ротаційно-кувальні машини, кувальні вальці, горизонтально-згинальні машини тощо).

Холодне штампування проводять без нагрівання заготовок і поділяють на об'ємне та листове. Холодне об'ємне штампування дозволяє майже повністю виключити обробку різанням, знизити трудомісткість на 30–80% і підвищити коефіцієнт використання матеріалу на 50%. Основні види: видавлювання, висадка, об'ємне формування, калібрування (карбування).

Холодне листове штампування – виготовлення деталей з листа, стрічки або штаби товщиною до 10 мм. Переваги: висока продуктивність (до 40 тис. деталей за зміну), точність без додаткової механічної обробки, можливість автоматизації та економічна доцільність як у масовому, так і у



серійному виробництві. Листове штампування виконують на кривошипних або гідравлічних пресах.

Технологічні операції листового штампування поділяють на:

- Роздільні – відрізування, вирізування, пробивання, надрізування, обрізування;
- Формозмінні – згинання, витягування, обтискання, формування та інші.

Прокатка – це вид обробки металу, при якому заготовка деформується між двома обертовими валками прокатного стану. У процесі прокатування метал зазнає деформації в невеликій ділянці, яка називається зона деформації.

В результаті прокатки довжина і ширина заготовки збільшуються, а товщина зменшується. Відносне зменшення товщини заготовки називають відносним обтиском або ступенем деформації. Максимальне значення відносного обтиску залежить від типу виробів і становить 0,2–0,5. При цьому розширення заготовки за шириною складає приблизно 5–10 % від величини обтиску.

Метал затягується в зазор між валками за рахунок тертя між валками та заготовкою.

Сортамент прокату визначається набором профілів і розмірів прокатоного металу. Профіль – це форма поперечного перерізу виробу.

За сортаментом прокатна продукція поділяється на:

- Сортовий прокат – профілі загального призначення (круглі, квадратні, кутові, стрічкова сталь, швелери, двотаврові балки) та спеціального призначення (рейки, профілі для автотракторобудування, суднобудування, транспортного машинобудування та інших галузей);
- Листовий прокат – тонколистовий (товщина менше 4 мм) і товстолистовий, деякі види призначені для конкретних галузей (котлова, автотракторна, електротехнічна сталь);
- Труби – безшовні та зварні, а також фасонні та змінного перерізу;
- Спеціальний прокат – залізничні колеса, шестерні, кулі, підшипникові кільця, періодичний прокат та гнутий профіль.

Таким чином, прокатка дозволяє отримувати широкий асортимент металевих виробів різних форм, розмірів і призначення.

## 5.7 Осередок деформації при прокатці і його геометричні характеристики

Поздовжня прокатка металу здійснюється за допомогою двох робочих валків, які обертаються у протилежних напрямках — один за годинниковою стрілкою, інший проти неї (рис. 5.7). Щоб забезпечити необхідну пластичну деформацію, валки повинні мати достатню міцність і жорсткість.

Осередок деформації — це ділянка смуги, яка у даний момент піддається пластичній деформації під дією валків.

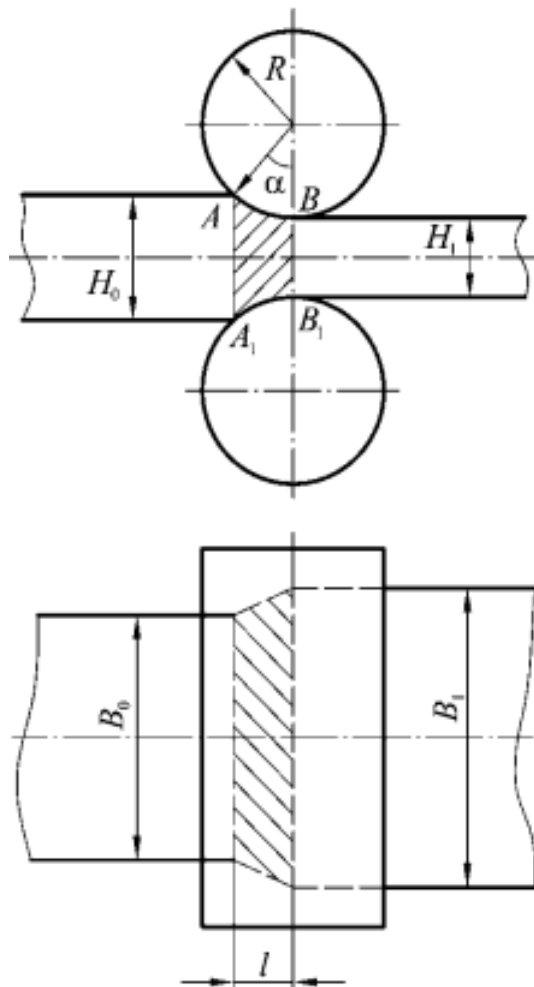


Рисунок 5.7 – Осередок деформації при прокатці:  $\alpha$  – кут захоплення,  $l$  – довжина дуги контакту,  $R$  – радіус валка

Об'єм металу, що знаходиться між площиною AA1 входу металу у валки і площиною BB1 виходу металу з них, називається геометричним осередком деформації.

Дуга АВ, по якій метал контактує з валками називається дугою контакту (захвату), а центральний кут  $\alpha$ , відповідний дузі захоплення - кутом захвату.

Довжина проекції осередку деформації на горизонтальну вісь – це довжина осередку деформації.

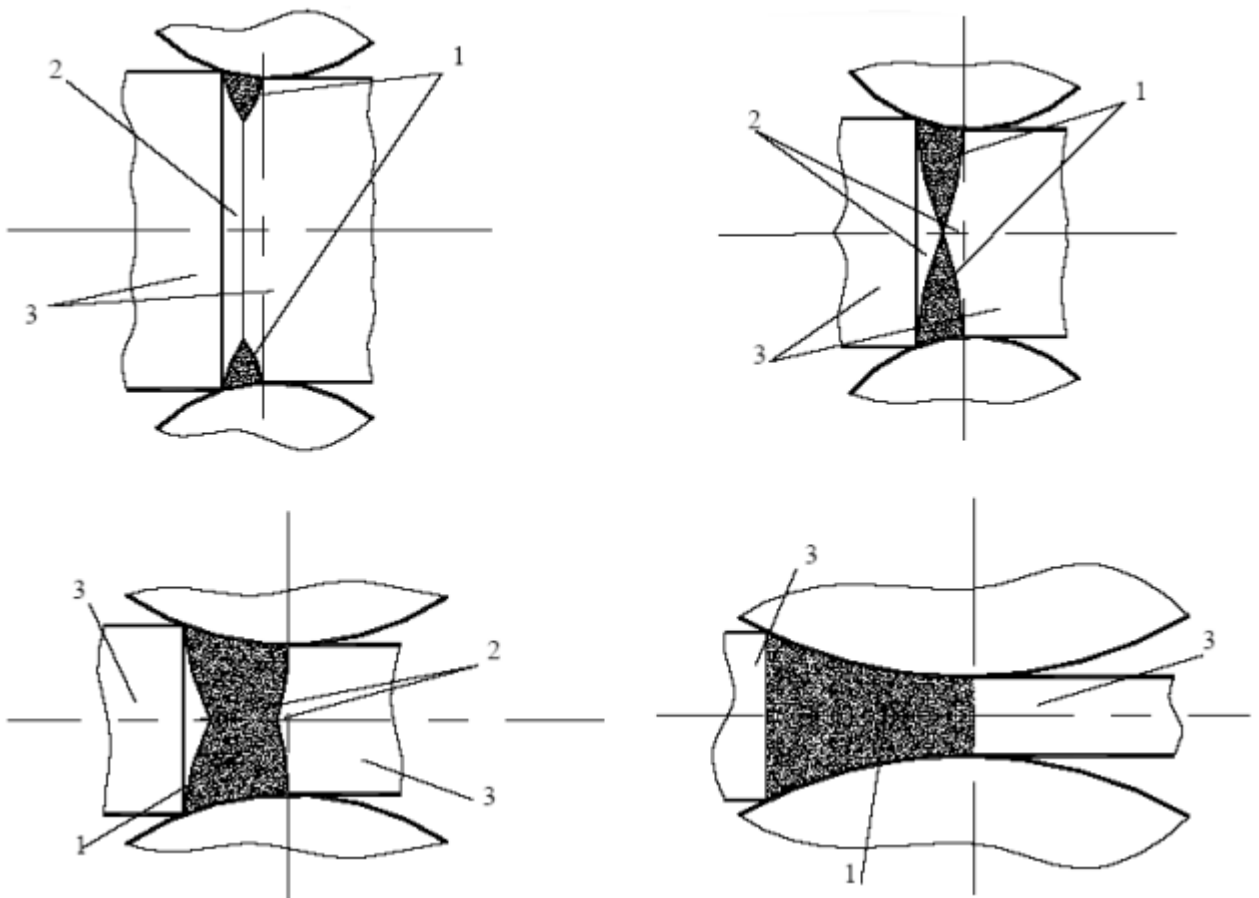


Рисунок 5.8 – Форми осередків деформації: 1 – метал, що деформується; 2 - зовнішні зони всередині осередку деформації, 3 – зовнішні зони (частина металу, що не деформується в даний час), що прилягають до геометричного осередку деформації

З деяким наближенням по висоті смуги, що прокатується, види осередків деформації можна розподілити наступним чином:

$\frac{l_{cp}}{h_{cp}} < 0,3 \dots 0,4$	особливо товсті смуги
$\frac{l_{cp}}{h_{cp}} = 0,4 \dots 1$	високі смуг
$\frac{l_{cp}}{h_{cp}} = 1 \dots 4$	смуги середньої висоти
$\frac{l_{cp}}{h_{cp}} > 4$	тонкі смуги

## 5.8 Визначення пластичної деформації при прокатці

В процесі прокатки змінюються лінійні розміри смуги – висота (товщина)  $h$ , ширина  $b$  і довжина  $l$ . Розглянемо систему показників, які характеризують величину деформації у кожному з цих напрямків.

Таблиця 5.1 – Показники деформації

Показники деформації		Висотна деформація ( $h$ )	Поперечна деформація ( $b$ )	Поздовжня деформація ( $l$ )
		обтиснення	розширення	подовження
Абсолютна деформація		$\Delta h = h_0 - h_1$	$\Delta b = b_0 - b_1$	$\Delta l = l_0 - l_1$
Відносна	Справжня деформація	$\varepsilon_t = \ln \frac{h_0}{h_1}$	$B_t = \ln \frac{b_0}{b_1}$	$\Lambda_t = \ln \frac{l_0}{l_1}$
	Умовна відносна деформація	$\varepsilon = \frac{h_1 - h_0}{h_0} = \frac{\Delta h}{h_0}$	$B = \frac{b_1 - b_0}{b_0} = \frac{\Delta b}{b_0}$	$\Lambda = \frac{l_1 - l_0}{l_0} = \frac{\Delta l}{l_0}$
	Коефіцієнт деформації	$\eta = \frac{h_1}{h_0}$	$\beta = \frac{b_1}{b_0}$	$\lambda = \frac{l_1}{l_0}$



Обтиснення - зменшення товщини заготовки під час проходження між валками. Це головний показник деформації при прокатуванні.

Розширення - збільшення ширини заготовки внаслідок поперечного витіснення металу із зони деформації під час прокатки. Як правило, становить 5–10 % від величини обтиснення.

Подовження - збільшення довжини заготовки у процесі прокатування в результаті зменшення її товщини. Це — основний показник пластичного деформування металу при збереженні його об'єму.

Абсолютна деформація - зміна розміру заготовки в напрямку деформації, тобто різниця між початковим і кінцевим розміром.

Відносна деформація - відношення абсолютної деформації до початкового розміру. Вона показує, на яку частку від початкової товщини зменшилася заготовка.

Справжня деформація (істинна) - визначає деформацію з урахуванням поступової зміни розміру заготовки під час процесу. Застосовується у точних розрахунках прокатки.

Умовна відносна деформація - спрощений показник, що використовується в інженерних розрахунках замість справжньої. Визначається тим самим співвідношенням, але без логарифмічного перерахунку.

Коефіцієнт деформації - показує ступінь зменшення товщини або збільшення довжини заготовки після прокатки. Визначається як відношення початкового розміру до кінцевого.

## **5.9 Стадії процесу прокатки**

Процес прокатки поділяється на три основні стадії: захват, сталий процес і викид (рис. 5.9), кожна з яких має свої особливості перебігу деформації.

На стадії захоплення метал поступово заповнює осередок деформації між валками. У цей період процес має нестійкий характер, оскільки параметри деформації постійно змінюються — змінюються коефіцієнти деформації, площа контакту, тиск на валки тощо. На цьому етапі передня зовнішня зона ще відсутня. Стабілізація процесу відбувається лише після того, як передній кінець смуги повністю пройде через валкову щілину.

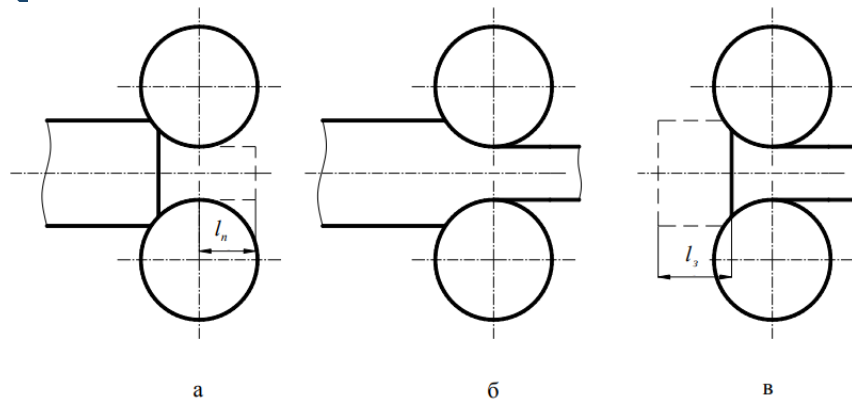


Рисунок 5.9 – Стадії прокатки: а – захват; б – сталий процес; в – викид

Сталий процес прокатки є основною стадією, під час якої всі параметри залишаються постійними. Деформація відбувається за наявності передньої та задньої зовнішніх зон. У цей період через будь-який поперечний переріз зони деформації в одиницю часу проходить однаковий об'єм металу, що відображається рівнянням умови сталості секундних об'ємів:  $F_0 \cdot V_0 = F_1 \cdot V_1 = const$ . Ця залежність широко використовується для розрахунків у процесах прокатки.

На стадії викиду процес знову набуває нестійкого характеру. Коли задній кінець смуги наближається до валків, відбуваються зміни у кінематичних, енергетичних та деформаційних параметрах. Це пояснюється зменшенням впливу задньої зовнішньої зони, яка повністю зникає в момент входження кінця смуги у валкову щілину.

### 5.10 Випередження та відставання. Нейтральний переріз. Нейтральний кут

Встановлено, що під час сталого процесу прокатки швидкість виходу переднього кінця смуги з валків перевищує окружну швидкість валків, тоді як швидкість входження заднього кінця, навпаки, є меншою за неї. Це пояснюється особливостями руху металу в зоні деформації.

Якщо уявити процес прокатки як осадження металу (рис. 5.10) вздовж осі 1–1 із одночасним витисненням металу з осередку деформації, то частинки, розташовані ліворуч від цієї осі, під час пластичної деформації

зміщуються у зворотному напрямку прокатки (віджимаються назад) зі швидкістю. Частинки, що лежать праворуч від осі, навпаки, рухаються в напрямі прокатки (вижимаються вперед) зі швидкістю.

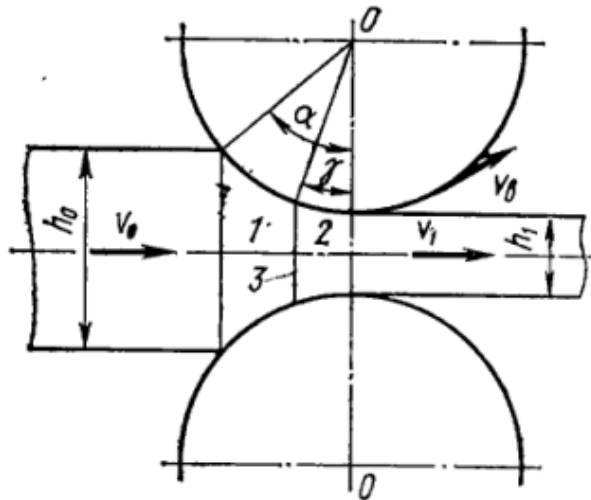


Рисунок 5.10 – Схема утворення двох зон в осередку деформації


Щоб забезпечити рух металу в зоні контакту, на ці швидкості накладається швидкість обертання валків. У результаті на одних ділянках контактної поверхні сумарна швидкість металу менша, а на інших — більша за швидкість валків. Так утворюються дві області:

- зона відставання, де швидкість смуги менша за окружну швидкість валків;
- зона випередження, де швидкість смуги перевищує швидкість валків.

Межа між цими зонами називається нейтральною або критичною точкою, її положення визначається нейтральним (критичним) кутом  $\gamma$ . Зазвичай зона відставання більша за зону випередження.

Вертикальний перетин, при переході через який сили тертя змінюють напрямок, називають нейтральним, а кут між радіусом, проведеним у точку перетинання нейтрального перетину з дугою захоплення і лінією, що з'єднує центри валків, називають нейтральним кутом.

Однак така гіпотеза є справедливою лише при прокатці тонких смуг. Для товстих заготовок, де спостерігається значна нерівномірність деформації по висоті, вона не відображає реальну картину течії металу.



На практиці під час прокатки іноді спостерігається зона прилипання — ділянка, де швидкість металу збігається зі швидкістю валків. Цей термін використовується в кінематичному сенсі і означає відсутність ковзання, а не фізичне зчеплення металу з валками.

Отже, осередок деформації при прокатці складається з трьох частин: зони відставання, зони прилипання, зони випередження, що спільно визначають кінематику процесу пластичного деформування металу між валками.

Випередженням  $S$  називається величина, яка показує, наскільки швидкість виходу смуги з валків  $V_1$  більша за окружну швидкість валків  $V_B$ :

$$S = \frac{V_1 - V_B}{V_B} \text{ або } S = \gamma^2 \frac{R}{h_1}, \text{ де } \gamma = \arcsin \left( \sin \frac{\alpha}{2} - \frac{1 - \cos \alpha}{2 \cdot f} \right) - \text{нейтральний кут.}$$

Відставання  $S_{\text{відст.}}$  називається величина, яка показує, наскільки швидкість виходу смуги з валків  $V_1$  менше горизонтальної проєкції окружної швидкості валків в перерізі входу металу в осередок деформування:

$$S_{\text{відст.}} = \frac{V_B \cdot \cos \alpha - V_1}{V_B \cdot \cos \alpha}$$

Зі збільшенням радіусу валків, коефіцієнта тертя та переднього натягу випередження збільшується. Зі збільшенням товщини прокату та заднього натягу - зменшується. Зі збільшенням обтискання та кута захоплення спочатку збільшується, потім знижується.

## 5.11 Тертя при прокатці

Зовнішнє тертя відіграє важливу роль у процесі пластичної деформації металу. Саме завдяки силам тертя, що виникають на межі контакту металу з валками, забезпечується можливість прокатки. Ці сили істотно впливають на геометричні, енергосилові та кінематичні характеристики процесу.

Під час тертя одночасно відбуваються механічні, теплові, електричні, вібраційні та хімічні явища, які призводять до зношування контактних поверхонь або навіть їх зварювання. Між поверхнями завжди існує проміжний шар — це може бути оксидна плівка, вода чи технологічне мастило.

Залежно від умов контакту розрізняють сухий, граничний та рідинний режими тертя. У реальних умовах прокатки переважають напівсухий, змішаний і контактено-гідродинамічний типи тертя.



Напівсухе тертя характерне для гарячої прокатки, коли під час деформації руйнується окалина на металі та окисна плівка на валках, що спричиняє появу зон сухого тертя і схоплювання чистих металевих поверхонь.

Змішане тертя спостерігається при холодній прокатці за використання валків із насиченою поверхнею.

Контактно-гідродинамічне тертя виникає у важконавантажених зонах при тонкоплівковому змащенні. Такий режим типовий для холодної прокатки особливо тонких листів із застосуванням вискоефективних мастил, наприклад, пальмової чи бавовняної олії.

Величина сил тертя в зоні деформації безпосередньо визначає енергосилові параметри процесу прокатки.

### **5.12 Технологічні фактори, що впливають на коефіцієнт тертя**

На коефіцієнт тертя  $f$  під час процесу прокатки впливають різні технологічні фактори, які визначають умови контакту між металом і валками.

Стан поверхні робочого інструменту. Чим менше шорсткість інструменту, тим менше тертя. Використовується фактор досить гнучко. У разі гарячої прокатки, щоб покращити умови захоплення та обтиснення за прохід, поверхню валків закруглюють, збільшуючи її шорсткість (роблять насічку, наплавлення). При холодній прокатці, коли тиск металу на валки великий за рахунок високої межі плинності, і ще необхідно долати контактні сили тертя, прокатні валки шліфують, полірують з метою зниження коефіцієнта тертя. Захват металу при цьому може не відбуватися, і прокатку ведуть за рахунок застосування переднього натягіння.

Стан поверхні металу, що деформується. Впливає тільки в перший момент деформації, надалі залежить від стану поверхні інструменту (приймає його шорсткість). Важливу роль грає окалина. При гарячій прокатці вона іноді грає роль змащення, а іноді - насічки (збільшує тертя). При холодній прокатці окалина завжди сприяє збільшенню тертя. Чим чистіше поверхні контактуючих тіл, тим вище коефіцієнт тертя ( $f$ ), оскільки тонкі плівки оксидів не паралізують сили молекулярного зчеплення. При прокатуванні у вакуумі  $f > 0,5$ .




Хімічний склад. Дія суперечлива. Вуглець і хром знижують коефіцієнт тертя, марганець підвищує. За деякими даними коефіцієнт тертя складнолегованих сталей нижче за низьких температур і вище - за високих. У реальних процесах коефіцієнт тертя є сумішшю істинного і уявного коефіцієнтів тертя. Такий коефіцієнт тертя може виявляти залежність від багатьох параметрів, від яких він, здавалося б, не залежить. Зі збільшенням вуглецю зростає твердість і межа плинності сталі, і при одній і тій самій деформації зростає нормальний тиск на інструмент. З тієї ж причини тверді та легovanі сталі мають менший коефіцієнт тертя, ніж низьковуглецеві.

Температура. В основі тертя лежить взаємодія третювних поверхонь, тому чималу роль у механізмі взаємодії грають процеси схоплювання гребенів одного металу при ковзанні по гребенях іншого. Чим вище температура, тим активніші процеси схоплювання, тим вище має бути коефіцієнт тертя. Однак у зоні температур початку утворення окалини (близько 500-600°C) коефіцієнт тертя знижується, оскільки окалина грає роль роздільника поверхонь. З підвищенням температури товщина шару та пластичність окалини збільшуються, тому коефіцієнт тертя знижується. Утворення другого максимуму пояснюється структурними змінами в окалині з утворенням  $Fe_2O_3$ ,  $Fe_3O_4$ ,  $FeO$ . При температурі понад 1000°C різко зростає пластичність металу - податливість сил зрізу (зрізаються мікронерівності).

Тиск ( $p$ ) на поверхні металу. Дія суперечлива. Пояснюється це тим, що не встановлено закономірності між змінами стану контактних поверхонь та  $f$ . З одного боку збільшення  $p$  призводить до згладжування всіх нерівностей та зменшення  $f$ . З іншого боку, збільшення  $P_{cp}$  призводить до збільшення площі контактних поверхонь, руйнування шарів мастила та взаємодії чистих поверхонь металу та інструменту - зростають молекулярні сили взаємодії,  $f$  зростає.

Швидкість відносного зсуву. Зі зменшенням швидкості деформування збільшується коефіцієнт тертя. Цю залежність використовують при прокатці: для забезпечення надійного захоплення металу валками його виконують зі швидкістю не більше 2 м/с. Зменшення коефіцієнту тертя зі збільшенням швидкості інструменту деформації пояснюється процесами схоплювання при терті поверхонь. Чим швидше змінюються ділянки, що



контактують, тобто чим більше швидкість деформації, тим менше схоплювання і коефіцієнт тертя падає.


Отже, коефіцієнт тертя є змінною величиною, що визначається сукупною факторів. Правильний вибір технологічних параметрів дає змогу оптимізувати процес прокатки, знизити енергоспоживання та підвищити якість продукції.

### **Питання до самоконтролю:**

1. Що таке прокатне виробництво і яке його місце у металургійному циклі?
2. Які основні види продукції виготовляють на прокатних станах?
3. У чому полягає сутність процесу пластичної деформації під час прокатки?
4. Які основні типи прокатних станів застосовуються у сучасній металургії?
5. Які фактори впливають на якість готового прокату?
6. Що називають деформаційною схемою прокатки?
7. Які основні параметри характеризують процес прокатування (редукція, подовження, витяжка)?
8. Як впливає температура металу на процес прокатки?
9. Яке значення мають швидкість і тиск у зоні деформації?
10. Які відмінності існують між гарячою та холодною прокаткою?
11. Які основні елементи входять до складу прокатного стану?
12. Яке призначення мають робочі кліті, рольганги та приводні механізми?
13. Як класифікують прокатні стани за кількістю клітей?
14. У чому полягає різниця між реверсивними та нереверсивними станами?
15. Які основні вимоги ставляться до конструкції прокатного стану?
16. Яке призначення робочих валків у процесі прокатки?
17. З яких матеріалів виготовляють валки та якими вони повинні володіти властивостями?
18. Як впливає форма калібру на профіль готового прокату?
19. Які види валків застосовуються у чорнових і чистових клітях?



20. Як здійснюється зміна і балансування валків під час роботи стану?
21. Що таке калібрування валків і яке воно має значення для процесу прокатки?
22. Які основні типи калібрів застосовуються для прокатування різних профілів?
23. Як визначається послідовність проходження металу через калібри?
24. Які фактори впливають на точність калібрування?
25. Яким чином здійснюється контроль зносу калібрів у процесі експлуатації?
26. Які бувають основні типи прокатних станів за призначенням?
27. Які особливості мають блюмінги та слябінги?
28. Яке призначення станів гарячої та холодної прокатки?
29. У чому полягають відмінності між листопрокатними та сортопрокатними станами?
30. Як організовано технологічний процес на безперервному прокатному стані?
31. Які основні агрегати входять до складу технологічної лінії прокатного цеху?
32. Яке призначення має головна лінія прокатного стану?
33. Як взаємодіють між собою робочі кліті, транспортувальні механізми та приводи?
34. Які допоміжні системи забезпечують безперебійну роботу стану?
35. Як впливає компоновка лінії на продуктивність прокатного виробництва?
36. У чому полягає суть процесу гарячої прокатки?
37. Які переваги має гаряча прокатка перед холодною?
38. Які температурні режими підтримуються при гарячій прокатці?
39. Як охолодження металу впливає на якість прокату?
40. Які типові дефекти виникають при гарячій прокатці та як їх уникнути?
41. Які особливості має процес холодної прокатки?
42. У яких випадках застосовується холодна прокатка металів?

- 
43. Як змінюються механічні властивості металу після холодної деформації?
  44. Яке обладнання використовується для холодної прокатки листів і стрічок?
  45. Які заходи вживають для запобігання утворенню тріщин під час холодної прокатки?
  46. З якою метою здійснюється термічна обробка прокату?
  47. Які основні види термічної обробки застосовуються після прокатки?
  48. Як впливають нагрів і охолодження на структуру металу?
  49. Яке призначення мають відпал і нормалізація після холодної прокатки?
  50. Яким чином термічна обробка підвищує міцність і пластичність прокату?
  51. З якою метою проводиться правка прокату?
  52. Які типи машин використовуються для правки сортових і листових профілів?
  53. Як впливають параметри правки на якість готового виробу?
  54. Яке призначення мають роликові сортоправильні машини?
  55. Які операції здійснюються після правки (різання, пакування, маркування)?
  56. Які основні методи контролю якості застосовуються у прокатному виробництві?
  57. Які дефекти найчастіше виявляються у готовому прокаті?
  58. Які прилади та установки використовують для вимірювання геометричних параметрів?
  59. Яке значення має ультразвуковий і магнітопорошковий контроль?
  60. Як результати контролю впливають на подальшу обробку або відбраковку продукції?



## ТЕМА 6. ТЕХНОЛОГІЇ ПРОКАТНОГО ВИРОБНИЦТВА

### 6.1 Історія прокатного виробництва

Час винаходу прокатки металів відносять до середньовіччя і пов'язують з зростаючою потребою в отриманні металевих листів. До XVI століття найпоширенішим способом отримання листів було кування. Кування листів називали листобійною справою і займалися ним ще античні та особливо середньовічні ковалі. Однак досягти куванням строго певної товщини листа по всій його площі було неможливо. Крім того, даний спосіб був трудомісткий і малопродуктивний. Цю серйозну технічну проблему вдалося успішно вирішити застосуванням прокатного стану з гладкими циліндричними валками.

Самий ранній документ у вигляді малюнка з описом пристрою для прокатки олова належить перу геніального вченого Леонардо да Вінчі і датується 1495 роком. Автор залишив зображення ручного прокатного табору з гладкими валками з коротким до нього поясненням. За даними вченого, прокатний стан призначався виготовлення «тонких і рівномірних олов'яних листів». Леонардо да Вінчі зазначав, що валки мають бути виготовлені «з дзвонового металу, щоб вони були твердішими, і їх оснащувати залізними осями». Відомо, що в прокатному стані Леонардо да Вінчі приводним був один нижній валок, на осі якого було насаджено черв'ячне колесо. Передача руху прокатного валку проводилася через черв'ячну пару масивною рукояткою. Досі немає єдиної думки про те, чи є зображений Леонардо да Вінчі прокатний стан його винаходом, або ж автор дав ескіз технічного нововведення, що його зацікавило, вже застосовувалося на практиці.

До кінця XVII століття прокатні стани приводилися в рух вручну. У XVIII столітті з'явився водяний привід, що стало початком промислової прокатки заліза. Наприкінці XVIII століття для приводу прокатних станів почали застосовувати парові машини, і прокатка поступово перетворилася на одну з трьох основних ланок металургійного виробництва, витіснивши менш ефективно кування. Саме в цей період англієць Генрі Корт (1783 р.) розробив перший промисловий прокатний стан із каліброваними валками. Відтоді прокатні стани почали спеціалізуватися — їх поділяли на обтискні, листові та сортові.



У 30–40-х роках XIX століття, з розвитком залізниць, у різних країнах розпочалося виробництво рейок. У 1856–1857 рр. у Саарі (Німеччина) встановили перший стан для прокатки великих балок. Подальше вдосконалення конструкцій призвело до появи в США наприкінці XIX століття перших обтискних станів — блюмінгів і слябінгів. У 1867 році в Англії створили безперервний дротяний стан, а в 1885 році в Німеччині винайшли спосіб гвинтової прокатки безшовних труб із косо розташованими валками. Через рік у США впровадили швидкохідну дротяну моталку з осьовою подачею, а 1892 року там встановили перші летючі ножиці. У 1897 році в Німеччині вперше використали електродвигун для приводу прокатного стану, а вже в 1906 році у Словаччині запустили стан із реверсивним електроприводом.

Принцип безперервної гарячої прокатки листів уперше реалізували у Чехії в 1892 році, де встановили напівбезперервний стан. У 1923 році в США збудували перший безперервний широкосмуговий листовий стан. Холодна прокатка листів розпочалася в 1880-х роках, а прокатка труб у холодному стані була освоєна в США у 1930 році.

В СРСР у 1933 році на Макіївському та Дніпродзержинському металургійних заводах запрацювали перші блюмінги, виготовлені на Іжорському заводі. У 1940–1960-х роках ВНДІМЕТМАШ створив низку сучасних прокатних станів для нових технологічних процесів, що дозволили виробляти продукцію, яку раніше отримували менш ефективними методами (тонкостінні труби, профілі змінної товщини, кулі, втулки, гвинти, ребристі труби тощо).

У 1959–1962 роках спільно з Електростальським заводом важкого машинобудування були розроблені принципово нові трубні стани з безперервним редукуванням труб, а також стани для безперервної прокатки безшовних труб із продуктивністю до 5 тонн. Тоді ж створили установки для прокатки коліс різних типів.

У 1960-х роках XX століття в СРСР, США, ФРН та Італії почали розробляти ливарно-прокатні агрегати, що поєднували процеси безперервного лиття й прокатки. Надалі такі установки широко застосовували для виробництва катанки з алюмінієвих і мідних сплавів, сталевих заготовок і листів.

## 6.2 Способи прокатки

Прокаткою виготовляють листовий метал різного асортименту, труби, сортовий прокат різних профілів, а також спеціальні вироби — бандажі, колеса та періодичний прокат.

Процеси прокатки різноманітні й класифікуються за кількома ознаками [18]:

1) За взаємним розташуванням осей валків і заготовки (рис. 6.1):

- Поздовжня прокатка. Вісь заготовки перпендикулярна до осей валків. У цьому випадку смуга рухається лише вперед, тобто здійснює поступальний рух.

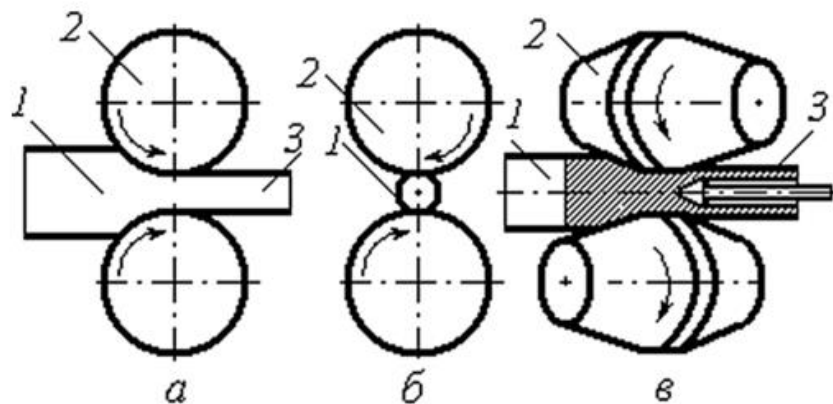



Рисунок 6.1 — Схеми прокатки: а - поздовжньої; б - поперечної; в - поперечно-гвинтовий (прокатка труби); 1 - заготовка; 2 - валки; 3 – виріб.

- Поперечна прокатка. Осі валків і заготовки паралельні. Валки обертаються в одному напрямку та зближуються, зменшуючи діаметр заготовки, яка обертається у зворотному напрямку. У поздовжньому напрямку заготовка не рухається (якщо не застосовуються спеціальні тягучі пристрої). Такий тип прокатки використовують для виготовлення валів, втулок, осей та інших тіл обертання.

- Коса (гвинтова) прокатка. Вісі валків розташовані під певним кутом одна до одної та до осі заготовки. Під час деформації заготовка здійснює одночасно обертальний і поступальний рух. Кут нахилу валків зазвичай становить 12–18°, тому цей процес ближчий за характером до



поперечного, ніж до поздовжнього. Коса прокатка широко застосовується при виготовленні безшовних труб.

- Періодична прокатка. Особливий вид процесу, при якому зазор між валками змінюється періодично, що досягається за рахунок спеціальної форми валків. У результаті отримують профілі з поперечним перерізом, який змінюється по довжині виробу.

2) За симетричністю процесу:

- Симетрична прокатка — коли вплив обох валків на заготовку однаковий.

- Несиметрична прокатка — коли умови роботи валків різні. До таких процесів належать прокатка у валках різного діаметра, з одним приводним валком, при різних швидкостях обертання, при неоднакових властивостях металу по товщині або при різних умовах тертя на контактних поверхнях.

3) За дією зовнішніх сил на кінцях смуги:

- Вільна прокатка — коли на заготовку діють лише сили з боку валків.

- Невільна прокатка — коли додатково прикладено натяг або підпір, які створюються сусідніми клітями або спеціальними пристроями.

4) За температурними умовами:

- Гаряча прокатка є найбільш поширеною, оскільки при високих температурах метал має високу пластичність і низький опір деформації.


- Холодна прокатка застосовується для отримання тонких виробів із високою якістю поверхні — тонких листів або труб.

- Тепла прокатка проводиться при проміжних температурах і поєднує властивості двох попередніх способів.

Прокатка використовується не лише для надання металу певної форми, але й для покращення його механічних властивостей завдяки впливу деформації.

### **6.3 Продукція прокатного виробництва**

Форма поперечного перетину прокатаного виробу називається його профілем. Сукупність різних профілів різних розмірів, одержана прокатуванням, зветься сортаментом.



Основні групи сталевого прокату: сортовий, листовий, трубний, спеціальний.

- Профілі сортового прокату поділяються на дві групи: профілі простої геометричної форми і фасонні профілі.

Листовий (плоский) прокат має два основні види: листова сталь товста (4—60 мм) і листова сталь тонка (0,2—4,0 мм). Листовий металопрокат може бути гарячої та холодної прокатки. Кінцевий продукт в результаті проходить різні етапи виробництва, і має відмінності у своїх фізичних властивостях.

- Труби сталеві в основному є безшовні і зварні. Крім того, сталеві труби розрізняють за призначенням (загального призначення, котельні, паропровідні, газові, крекінгові, бурильні тощо).

- Як приклади спеціальних видів прокату можна вказати бандажі, колеса, зубчасті колеса і періодичний прокат.

- Періодичні профілі.

Сортовий прокат поділяють на прості сортові, фасонні і періодичні профілі. До числа простих сортових відносять профілі простої геометричної форми: круглі, квадратні, шестигранні, штабові. Всі вони – загального призначення. До цієї ж групи відносяться заготовки усіх видів.

Фасонні профілі мають відносно складну форму поперекового перерізу. В залежності від сфери використання їх поділяють на профілі загального призначення та галузевого (спеціального) призначення. Найбільш розповсюдженими фасонними профілями загального призначення є рівнополочні і нерівнополочні кутові профілі, швелери, двотаврові балки. Прикладами профілів загального призначення можуть бути рельси, профілі для шахтного кріплення, віконнорамні та інші.

Періодичні профілі відрізняються тим, що форма поперекового перерізу їх періодично змінюється по довжині прокатуємої штаби. Всі вони відносяться до виробів спеціального призначення. Широко відомий профіль для армування залізобетонних конструкцій. Є складні періодичні профілі для виготовлення автомобільних вісей.

Листовий прокат поділяють на дві основні групи:

- Товстолистовий – товщиною 4 мм і більше;
- Тонколистовий – товщиною менше ніж 4 мм.

Самим тонким різновидом листового прокату є фольга, яка має товщину менше 0,1 мм.

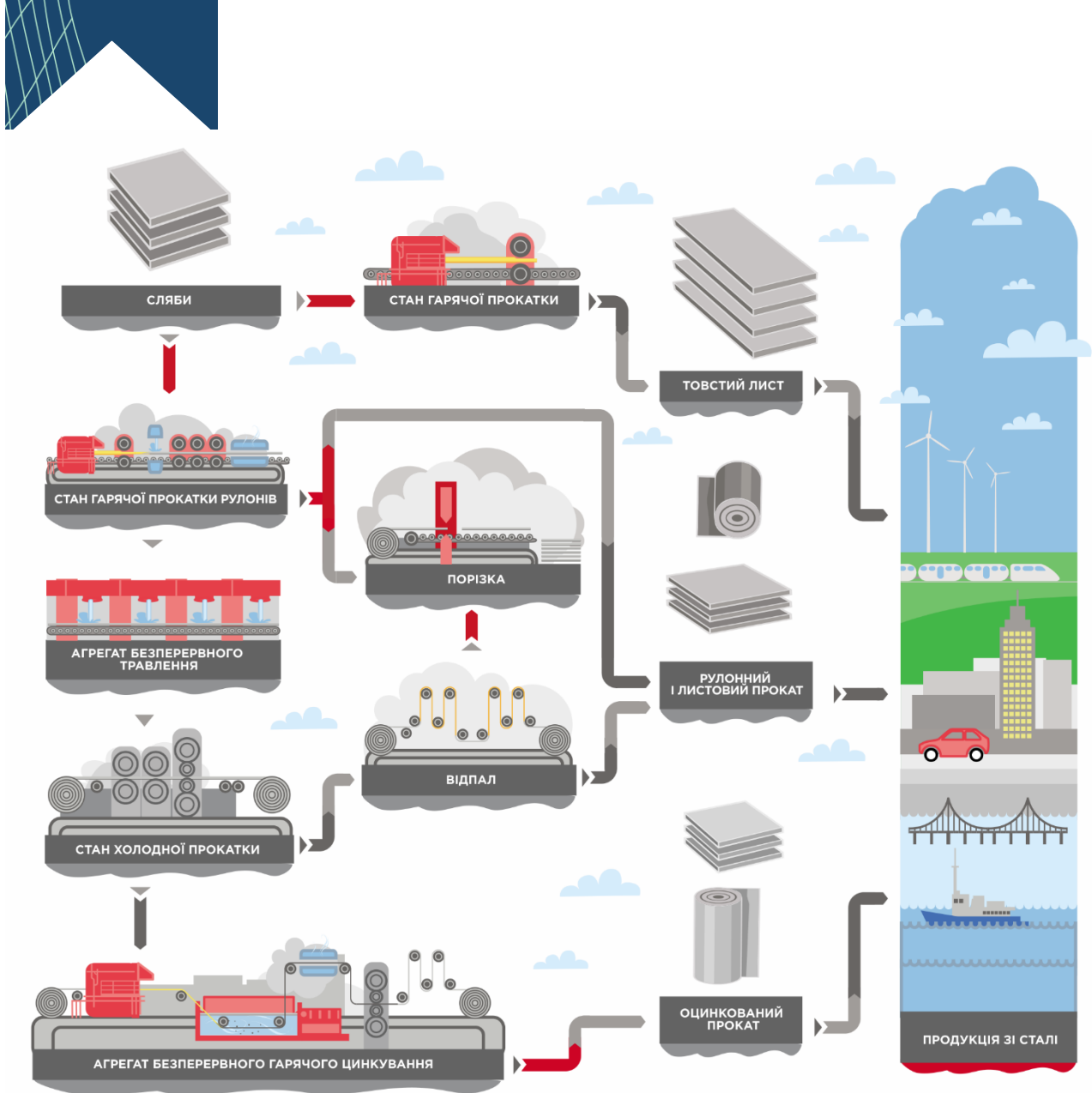


Рисунок 6.2 — Схема отримання плоского прокату [1]

Значну частину листової продукції, особливо тонколистової, випускають у вигляді довгих штаб, змотаних в рулони. Вузькі і тонкі штаби називають стрічками. Стрічкова сталь в багатьох випадках має спеціальне призначення і відповідну назву: котельна; мостова; суднобудівельна; автотракторна; електротехнічна; покрівельна.

Труби бувають безшовні і зварні. Звичайна форма труб кругла, але випускається також фасонні (профільні) різноманітної конфігурації в перерізі.

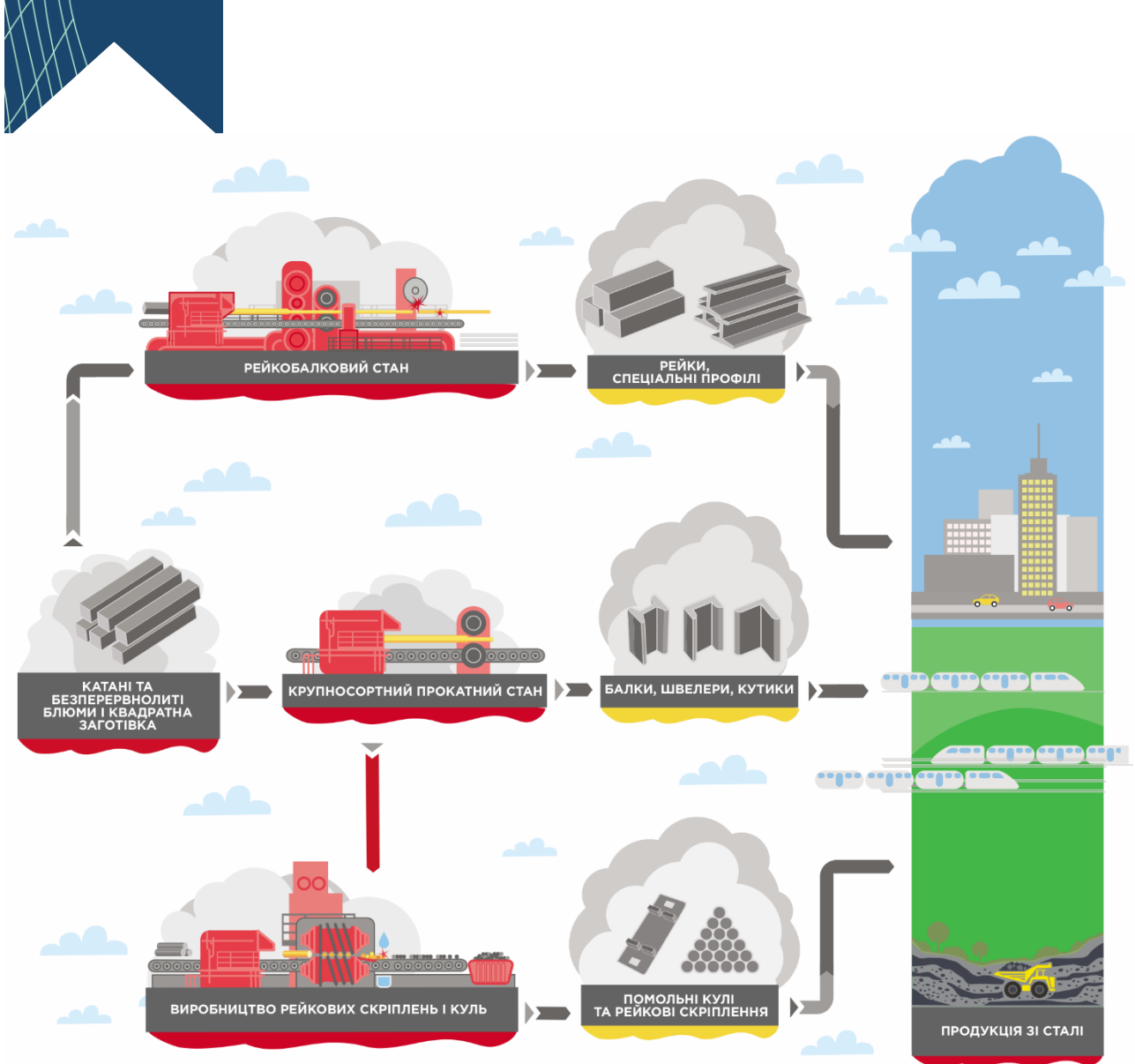


Рисунок 6.3 — Схема отримання сортового прокату [1]

До спеціальних профілів прокату відносять залізничні колеса, бандажі, кільця, ступінчасті вали, шари. До цієї групи відносять і гнуті профілі.

#### 6.4 Заготовки для прокатного виробництва

Вихідними заготовками при виробництві сортового прокату або листів є злитки. Перед прокаткою злитки підігрівають до температури  $1300^{\circ}\text{C}$  і прокочують на блюмінгу, отримуючи заготовки квадратного перетину зі сторонами від  $450 \times 450$  до  $150 \times 150$ , звані Блюми (в даний час блюми і сляби частіше отримують при безперервного розливання сталі).



Блюм - це чорнова заготовка квадратного перетину зі стороною від 150 до 450 мм і довжиною 6-10 м, що отримується прокаткою великих злитків (до 40 т) на блюмінгах, які після охолодження і поверхневої обробки (зачистки) направляють на середньо- і дрібносортна або на дротові стани. Встановлюють безперервні заготівельні стани поблизу блюмінга, і прокатка на них виробляється відразу після отримання блюма без додаткового нагріву.

Для виготовлення блюма використовують дві технології. Першу застосовують для злитків з вуглецевих сталей масою від 7 до 13 т. У легованих і високолегованих сталей маса злитка значно нижче, і прокатку можуть вести не на блюмінгу, як для вуглецевих сталей, а відразу на заготівельному стані. Для другої технології отримання блюма використовують машини безперервного лиття заготовок (МБЛЗ), в яких з кристалізатора необхідного перетину безперервно виходить заготовка, яку потім розрізають на литі мірні блюми.

Литі блюми, отримані за другою технологією, дешевше, але зазвичай містять домішки, неметалеві включення, які розкочуються в вигляді дефекту, який отримав назву «доріжка». Цей вид дефекту не усувається в готовому прокаті, знижуючи його властивості. Очищення рідкого металу перед розливанням приводить до подорожчання процесу. Крім того, площа поперечного перерізу литого блюма, особливо для дрібних вихідних перетинів, не забезпечує якісного опрацювання литої структури, що також негативно відбивається на властивостях готового прокату. Блюм, отриманий прокаткою злитків, дорожче, але вище за властивостями, ніж литий, так як домішки в них концентруються в прибуткової частини зливка, яка при прокатці на блюмінгу відрізається.

Останнім часом нові технології очищення рідкого металу, а також застосування більш дешевих МБЛЗ радіального і особливо горизонтального виду розширюють можливості застосування литих блюмів. Підтвердженням цього є те, що вже в багатьох країнах основна частина сортового прокату проводиться з литої заготовки.

Заготовка для листового прокату - сляб, має прямокутний перетин товщиною 150-300 мм, шириною 1 000-2 000 мм і довжиною до 18 м. Маса сляба коливається від 5 до 40 т. При цьому відношення ширини поперечного перерізу сляба до його висоті становить від 3 до 12. Поставки слябів можуть бути литими і катаними з тими ж перевагами і недоліками,



які розглядалися для блюмів. В даний час сляби є основними напівфабрикатами для виробництва листа. Спостерігається також тенденція вилівки не тільки великих слябів, а й тонких слябів товщиною близько 50 мм, які призначені для прокатки листів на міні-заводів.

Виробництво блюмів і слябів полягає в наступному: з сталеплавильного цеху злитки надходять в обтискний цех, потім їх завантажують в нагрівальні колодязі для нагріву до необхідної температури і вирівнювання температури по перетину злитка. Потім нагріті злитки краном переміщують на робочі ролики рольганга прокатного стану і піддають прокатці в кілька проходів в робочій кліті блюмінга або слябінга, що працює в реверсному режимі. Як правило, одночасно прокатують два злитки. Після прокатки блюми або сляби подають в машину вогневої зачистки, в якій за допомогою газових пальників спалюється поверхневий шар на заготовці разом з поверхневими тріщинами.

Наступною операцією є різка прокату на прес-ножицях, при якій від злитка відрізаються прибуткову і донну частини, потім решта (тіло злитка) ріжеться на частини довжиною не більше 700 мм і піддається прокатці на безперервно-заготівельних станах.

Після прокатки блюми (сляби) розрізають на мірні довжини, передають на приймальні стелажі і далі направляють на охолодження, режим якого залежить від марки сталі.

Прокатку блюмів і слябів здійснюють за кілька проходів, число яких залежить від розмірів вихідного злитка і кінцевих розмірів блюма (сляба). Зазвичай злиток прокатують до заданих розмірів блюма за 11-15 проходів. При прокатці на блюмінгу доводиться переміщати смугу між проходами від калібру до калібру уздовж вісі валків.

Робота сучасного блюмінга повністю автоматизована. Автоматизація управління натискним пристроєм забезпечує точне переміщення верхнього валка відповідно до заданого режиму обтиску злитка по проходах. Автоматизація управління головним двигуном блюмінга забезпечує реверсування валків, підвищує швидкість обертання двигуна після захоплення металу валками і знижує швидкість обертання при буксуванні валків в момент захоплення смуги, регулюється також швидкість виходу металу з валків.



Слябінги, призначені тільки для прокатки слябів, поширені менше блюмінгів, так як для звичайного сортаменту прокату на металургійних заводах потрібні в якості вихідного напівпродукту і блюми, і сляби.

## 6.5 Холоднокатаний лист

Холоднокатаний сталевий лист — це один із найпопулярніших видів плоского металопрокату. Його виготовляють із широкого спектра вуглецевих, низьколегованих та легованих марок сталі, за потреби проводячи додаткову термічну обробку. Завдяки високій якості поверхні та вдосконаленим технологічним характеристикам такий лист має широке застосування у різних галузях промисловості [19].


Холоднокатаний сталевий лист (х/к) — це плоский прокат, остаточним етапом обробки якого є холодна прокатка. Такий спосіб забезпечує однорідну структуру металу, покращує чистоту поверхні, підвищує технологічні властивості та дозволяє отримати вироби малої товщини. Відповідно до вимог ДСТУ 8971, товщина х/к листа становить від 0,35 до 5,0 мм, ширина — 500...2350 мм, а довжина — 1000...6000 мм. За домовленістю між виробником і замовником можливе виготовлення листів інших розмірів.

Виробництво холоднокатаного прокату здійснюється із застосуванням різних марок сталі відповідно до національних і міжнародних стандартів (ДСТУ EN 10130, ДСТУ EN 10131, ДСТУ 8971/ГОСТ 19904, ДСТУ 2834/ГОСТ 16523 тощо), що визначають особливості хімічного складу та механічних властивостей продукції [19].

Холоднокатаний лист і рулонний прокат зазвичай виготовляють із таких груп сталей [19]:

- вуглецеві (Ст1, Ст2, Ст3, Ст4, Ст5, 08, 08Ю, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, DC01, DC03, DC04, DC05 тощо);
- низьколеговані з підвищеною міцністю (09Г2, 09Г2С, 10ХНДП, 14Г2, НС340LA тощо);
- низьколеговані з високою формоздатністю (DC06, DC07, DC04ЕК, SS Grade 40 тощо).

Перш ніж надійти на склад готової продукції, метал проходить додаткову обробку — відпал, дресировання, промаслювання та інші технологічні операції. Зберігання і транспортування здійснюються



відповідно до вимог ДСТУ 3058/ГОСТ 7566 та суміжних нормативних документів, що запобігає виникненню пошкоджень, корозії й дефектів поверхні [19].

### **6.5.1 Технологія виробництва холоднокатаної сталі**

Холоднокатану листову сталь виробляють методом холодної поздовжньої прокатки — поширеного способу обробки металів тиском. Він базується на пластичній деформації сталі під дією зовнішніх сил, що створюються симетрично обертовими валками прокатної кліті. У процесі формування смуги осередок деформації утворюється безпосередньо в зоні контакту з валками, а пластична деформація характеризується коефіцієнтами витяжки та розширення прокату [19].

Загальна схема виробництва холоднокатаної сталі включає такі етапи [19]:

- підготовка рулонного прокату у травильному агрегаті: розмотування, стикова зварка на стикозварювальній машині, обробка в окалиноломателі, гратознімачі та кислотних ваннах;
  - промивка та просушування з одночасним обрізанням кромки;
  - заправка смуги та прокатка у клітях стану холодної прокатки;
  - рекристалізаційний відпал у колпакових печах для досягнення рівномірної структури сталі по довжині та товщині смуги і підвищення пластичності металу;
- фінішна обробка в дресирувальному стані для усунення хвилястості по центру і краях смуги, поліпшення геометричної форми та якості поверхні. Сили обтиснення при цьому оптимальні (не більше 3%), що забезпечує покращення механічних властивостей прокату;
- відбір зразків для приймальних випробувань і проведення дефектоскопії методами неруйнівного контролю;
- поперечна та поздовжня порізка на листи та рулони заданих розмірів;
- таврування та маркування готової продукції.



## 6.5.2 Виробництво сталевих холоднокатаних листів

Для отримання холоднокатаного листа технологічний процес на металургійному підприємстві включає ряд операцій. Обробка металу здійснюється на спеціальних станах холодної прокатки, а заготовкою слугує гарячекатаний рулон або листовий прокат, товщина якого підбирається залежно від розмірів кінцевої продукції. У ході виготовлення забезпечується висока чистота поверхні та точність геометричних розмірів.

Основні етапи виробництва холоднокатаного листа [19]:

1. Очищення поверхні. Підготовка поверхні є критично важливою для якості готового прокату. Щоб уникнути включення окалини та інших домішок у текстуру листа та забезпечити гладку поверхню, використовують механічні та хімічні методи очищення, часто комбінуючи їх для досягнення максимального ефекту.


2. Механічна обробка. Включає абразивне очищення гарячекатаної заготовки. Використовують пневматичні або механічні дробометні та піскоструминні установки для видалення поверхневих дефектів, окалини та слідів попередньої обробки.

3. Хімічна обробка. Здійснюється за допомогою розчинів соляної або сірчаної кислоти для витравлювання дрібних оксидних плівок і залишків окалини. Після цього заготовку ретельно промивають і сушать, щоб уникнути пошкодження металу.

4. Термічна обробка та дооздоблення. Завершальний етап включає:

- відпал у термічних печах для отримання рівномірної структури та підвищення пластичності;
- нормалізацію, загартування або інші види термічної обробки за потреби;
- дресирування, правку, обрізку кромки;
- промаслювання та додаткове оздоблення;
- нарізку на листи потрібної довжини.

5. Безпосереднє виготовлення листів. Прокатний стан після підготовки заготовки включає 4–5 клітей та обладнання: розмотувачі, ножиці, моталки, механізми для створення петель, стикові зварювальні пристрої та летючі ножиці. Заготовка подається на рушійну стрічку стану, проходить через ролики для попереднього формування і надходить на



вали табору, де набуває остаточної товщини та форми. На завершальному етапі листи намотуються на барабан у рулони.

6. Подальший відпал та дресування. Відпал при температурі близько 700 °С у колпакових або протяжних печах усуває наклеп і покращує пластичність. Дресування дозволяє підвищити міцність, зменшити нерівності на поверхні та створити точний мікрорельєф листів.

### **6.5.3 Класифікація листа холоднокатаного**

Холоднокатаний листовий металопрокат має широке застосування та випускається відповідно до численних національних і міжнародних стандартів. Кожен нормативний документ передбачає власну систему класифікації продукції за різними ознаками. Розглянемо принципи класифікації за ДСТУ 8971/ ГОСТ 19904.

За розмірами (довжина, ширина, товщина). На відміну від гарячекатаного прокату, х/к лист характеризується високою точністю геометричних параметрів. Класифікація проводиться за класом точності прокати. До літерного позначення довжини («Д»), ширини («Ш») або товщини («Т») додається символ, що вказує на клас точності:

- «В» – високий клас точності (ВД, ВШ, ВТ);
- «А» – підвищений (аномальний) клас точності (АТ, АШ, АТ);
- «Б» – нормальний (базовий) клас точності (БД, БШ, БТ).

За площинністю. Листовий прокат класифікують за рівнем площинності, що позначається літерами:

- «ПО» – особливо висока площинність;
- «ПВ» – висока площинність;
- «ПУ» – покращена площинність;
- «ПН» – нормальна площинність.

За характером кромки. Залежно від обробки краю, листи поділяють на:

- «О» – з обрізною кромкою;
- «НО» – з необрізною кромкою.

За якістю обробки поверхні. Листи поділяють на три групи:

- I – особливо високої якості обробки;
- II – високої якості;
- III – підвищеної якості.

За можливостями витяжки. Виділяють два типи сталі:

- «Г» – для глибокої витяжки;
- «Н» – для нормальної витяжки.

Таким чином, класифікація х/к листового прокату враховує точність, площинність, обробку кромek, якість поверхні та здатність до витяжки.

#### **6.5.4 Переваги та недоліки холоднокатаного металу**

Пластична деформація металу без додаткового нагріву дозволяє отримати листи з високою точністю розмірів (допуски значно вужчі порівняно з гарячекатаним прокатом) та відмінною якістю поверхні. Виробництво холоднокатаного листового прокату забезпечує:

- рівномірну товщину по всій площі з мінімальною різнотовщинністю;
- можливість регулювання механічних властивостей листа завдяки різним режимам термічної обробки після прокатки;
- гладку поверхню та рівні торцеві краї;
- високу точність обробки поверхні;
- покращені механічні та фізико-хімічні характеристики;
- підвищену пластичність;
- відсутність окалини;
- простоту механічної обробки;
- високу стійкість до осьового навантаження.

Якість поверхні забезпечує добру адгезію, що робить х/к лист придатним для подальшого оцинкування або нанесення інших захисних і декоративних покриттів. Здатність холоднокатаного листа до зварювання та наступних пластичних деформацій визначається його хімічним складом і режимом термічної обробки.

Недоліки такого металопрокату пов'язані з його невеликою товщиною та специфікою виробництва:


- без додаткового покриття (металевого, лакофарбового або полімерного) він швидко піддається корозії;
- перехід від гарячого до холодного прокату підвищує собівартість продукції;
- обмежений діапазон товщин – зазвичай холоднокатаний смуговий прокат виготовляють до 4 мм.



### 6.5.5 Використання холоднокатаного прокату

Сталевий холоднокатаний лист користується високим попитом у тих сферах, де важлива естетична якість поверхні, невелика товщина виробу та високі експлуатаційні характеристики. Проте його застосування залежить від марки сталі, геометричних розмірів та способу фінішної чи передпродажної обробки. Основні напрямки використання можна виділити наступним чином [19]:

- Машинобудування, приладобудування, автомобільна промисловість. Х/к лист із конструкційних марок сталі товщиною 0,3–2,5 мм застосовують для виготовлення корпусів, обшивок, хомутів та рухомих деталей.
- Електроустаткування та енергетика. Лист використовується для виробництва щитів управління, серверних та релейних станцій, диспетчерських пунктів, а також корпусів контрольно-вимірювальних приладів і освітлювальної арматури.
- Суднобудування. Х/к лист застосовують при створенні корпусів малих і морських суден, навігаційних приладів, елементів рубок і палубних надбудов, а також для виготовлення люків, баків, огорож і щогл.
- Будівельна індустрія. Використовується для тонкостінних легких конструкцій, елементів покрівлі, систем водовідведення та вентиляції, а також як заготовка для профнастилу, дверних полотен та гнутих будівельних профілів.
- Авіабудування. Незважаючи на переважне використання алюмінієвих сплавів, холоднокатана сталь застосовується при будівництві цивільних і військових літаків, планерів та гвинтокрилів.
- Харчова промисловість і торгівля. Лист товщиною до 0,35 мм застосовують як пакувальний матеріал, а більш товстий прокат використовується як конструкційний матеріал для обладнання харчоблоків, вітрин, холодильників та систем зберігання.
- Виробництво товарів широкого вжитку. Використовується для виготовлення емальованого посуду та різного кухонного та побутового начиння.
- Інноваційна техніка. Х/к лист є конструкційним матеріалом для квадрокоптерів, глісерів, квадроциклів, гіроскутерів, моноколес, портативних самокатів та walkcar.

- 
- Заготівля для подальшого виробництва. Лист виступає основою для профільованих настилів, перфорованого металу, стінових панелей, металочерепиці, а також використовується для виготовлення оцинкованого прокату та зварних труб.

## **6.6 Гарячекатаний лист**

Листовий гарячекатаний прокат – це поширений вид металопрокату, який виготовляють методом гарячої прокатки. При цьому метал нагрівається до температури до 1300 °С [20].

Така технологія виробництва забезпечує:

- високу хімічну однорідність металу;
- зниження внутрішніх та поверхневих напружень;
- формування рівномірної структури, що гарантує однорідні властивості по всьому перетину;
- можливість зміни розмірів та форми виробу;
- випуск тонколистової та товстолистової сталі з вуглецевих, легованих і конструкційних марок.


Основний недолік гарячекатаного листа – наявність технологічної окалини, яку сьогодні видаляють за допомогою дробеструйної або хімічної обробки.

### **6.6.1 Етапи виробництва прокату листового гарячекатаного**

Гарячекатані вироби отримують шляхом пластичної деформації заздалегідь нагрітих слябів (для плоского прокату), блюмів або інших заготівель (для довгомірного прокату) із легової або «чорної» сталі, що значно полегшує надання металу потрібної форми. Під час прокатки рулонів при високих температурах напівфабрикат сплющується та витягується в довгу смугу. Валки розкочують його у плоский виріб товщиною  $h$ , яка багаторазово менша за довжину  $L$  та ширину  $B$ .

Основні етапи виробництва листового гарячекатаного прокату зі слябів [21]:

- подача слябів у нагрівальні печі;
- нагрівання до робочої температури;
- прокатка у декілька проходів на робочих клітках;

- 
- правка на випрямляючих машинах;
  - охолодження у холодильниках;
  - неруйнівний контроль у потоці стану;
  - обрізка поздовжніх кромek та кінців, розрізання на листи заданих розмірів;
  - остаточна обробка, контрольні випробування, приймання та маркування.

Перевага гарячої обробки металу полягає в тому, що нагрітий метал стає пластичним і легко піддається деформації. Холодний сляб занадто твердий і товстий навіть для спеціального прокатного обладнання. Розігрів дозволяє значно зменшити витрати сил і часу на прокатку та швидко отримати листи і смуги потрібної товщини.


Базові характеристики гарячого пластичного деформування заготівель прямокутного перетину:

- температура процесу понад 900 °C (залежно від марки сталі, параметрів обладнання та технології);
- високотемпературний нагрів спричиняє утворення окалини на поверхні, що є візуальною ознакою гарячекатаного прокату;
- під час охолодження відбувається зміна структури, розмірів і властивостей виробу; кути виробів згладжені та закруглені;
- рулонний прокат охолоджується в змотаному вигляді, інші види – розділяються та упаковуються;
- через високу температуру процесу товщина виробу може бути менш рівномірною порівняно з холоднокатаним прокатом.

Сучасна схема виробництва гарячекатаного плоского прокату передбачає розігрів і прокатку слябів. Проте на провідних світових металургійних підприємствах дедалі частіше застосовують ливарно-прокатні агрегати, які поєднують розливання рідкої сталі та гарячу прокатку в одному потоці, минаючи стадію напівфабрикатів. Це дозволяє економити енергію та пришвидшити виробничий процес [21].

### **6.6.2 Класифікація гарячекатаного прокату**

Властивості гарячекатаної сталі, допустимі відхилення за шириною, довжиною та площинністю листів, а також стандартні складські розміри продукції суворо регламентуються. Для отримання металопродукції з



необхідними характеристиками використовують різні марки сталі та технологічні процеси [22].

Відповідно до ДСТУ 8540/ГОСТ 19903 гарячекатаний прокат випускають товщиною від 0,4 до 160 мм у вигляді листів та від 1,2 до 25 мм у рулонах, при ширині не менше 500 мм. ГОСТ 19903 визначає сортамент листового гарячекатаного прокату та встановлює наступні параметри:


- Точність виготовлення за товщиною: підвищена (А) або звичайна (Б);
- Площинність: нормальна (ПН), покращена (ПП), висока (ПВ), особливо висока (ПО);
- Характер кромки: обрізна (О) або необрізна (НО).

Гарячекатаний листовий прокат виробляють з вуглецевих і низьколегованих сталей, включаючи нержавіючі та марки зі спеціальними властивостями, а також з кольорових металів і сплавів. Основний обсяг споживання припадає на вуглецеві та низьколеговані сталі, що відповідають вимогам таких стандартів:

- ДСТУ 2651/ГОСТ 380 – вуглецеві сталі звичайної якості (Ст2, Ст3, Ст4, Ст5 тощо) з різним ступенем розкислення (спокійна – сп, напівспокійна – нс, кипляча – кп);
- ДСТУ 7809/ГОСТ 1050 – якісні вуглецеві сталі (08, 20, 25, 30, 35, 40, 45 тощо);
- ДСТУ 8541/ГОСТ 19281 – низьколеговані сталі підвищеної міцності (10ХНДП, 09Г2, 09Г2С, 10ХСНД, 15ХСНД та ін.);
- ДСТУ 8429/ГОСТ 14959 – ресорно-пружинні марки (55С2А, 60С2, 65Г, 70Г, 80 та ін.).

Залежно від подальшої обробки та експлуатаційних вимог гарячекатаний прокат може мати такі механічні властивості:

- підвищена пластичність для холодного штампування та профілювання (ДСТУ 7808/ГОСТ 4041);
- нормальна міцність з вуглецевих та низьколегованих сталей (ДСТУ 8803/ГОСТ 14637);
- підвищена міцність із низьколегованих та легуваних сталей (ДСТУ 7806/ГОСТ 4543, ДСТУ 8969/ГОСТ 17066, ДСТУ 8541/ГОСТ 19281, ДСТУ 8817/ГОСТ 6713 тощо);
- високоміцний прокат і листи зі спеціальними властивостями для спеціалізованого застосування (ДСТУ 8429/ГОСТ 14959, ГОСТ 7350 тощо).



Класифікація гарячекатаного плоского прокату за ГОСТ/ДСТУ охоплює такі ознаки:

Вигляд поставки:

- листи (мірної довжини);
- рулони (широкополосні, універсальні, вузькосмугові, стрічка).

Товщина:

- толстолистовий –  $\geq 4$  мм;
- тонколистовий – до 3,9 мм включно.

Хімічний склад:

- вуглецевий;
- нелегований;
- легований.

Призначення:

- конструкційний прокат;
- прокат для котлів і судин під тиском;
- суднобудівний лист;
- прокат для машинобудування;
- листовий металопродукт для зварних труб тощо.

Міцність:

- вуглецева сталь звичайної якості – група ОК;
- вуглецева якісна сталь – група К.

Якість обробки поверхні:

- підвищена – III;
- звичайна – IV.

### **6.6.3 Переваги та недоліки гарячекатаної сталі**

Гарячекатана сталь має більш короткий цикл виробництва та як наслідок, меншу собівартість у порівнянні з холоднокатаною сталлю тієї ж марки. При цьому, може забезпечити оптимальне поєднання механічних і технологічних властивостей. Але така продукція має більш широкий діапазон розмірних допусків. Тому там, де на перший план виходить міцність металу, а до бездоганності поверхні та допускам за розмірами вимоги не такі суворі, г/к метал є ідеальним.

В процесі обробки сталь зберігає свої якісні характеристики:

- вигідна вартість;



- висока міцність металу;
- широкий асортимент продукції;
- стійкість до підвищених температур, а також різких перепадів температур;
- стійкість до іржі та корозії;
- тривалий термін експлуатації;
- простота використання – такі листи легше обробляти на різних верстатах.

До недоліків відносять:

- Неможливість контролювати точні розміри листа, оскільки при охолодженні сталь сильно стискається. Не виключено, що під час охолодження вона дещо скоротиться в розмірах, а це не може не позначитися на точності виробу. Тому елементи, виготовлені з гарячекатаного прокату, не рекомендується використовувати в областях, де потрібно максимально повну відповідність форми встановленому стандарту.
- Некрасива нерівномірна поверхня, на якій також можуть бути присутні дефекти. Втім, їх легко виправити шліфуванням або іншим типом обробки.
- Окалина, що утворюється на поверхні заготовки в процесі обробки. Її обов'язково потрібно видалити, інакше виріб не буде мати необхідним рівнем міцності.

#### **6.6.4 Галузь застосування**

Вважається, що до 80% світового обсягу товарної металопродукції складає сталевий гарячекатаний прокат. У сучасному інжинірингу та агротехнічному виробництві гарячекатаний лист конструкційного призначення користується особливо високим попитом. Його широко застосовують у авіа- та автомобілебудуванні, машинобудуванні, верстатобудуванні, а також для виготовлення корпусних елементів і деталей морських та річкових суден. Гарячекатаний лист незамінний у штампувальному виробництві та використовується при зведенні несучих конструкцій, перекриттів мостів і естакад, а також у виробництві труб, вагонів і цистерн, трамваїв і тролейбусів, сільськогосподарських машин та загальнопромислових агрегатів.



Рулони гарячекатаного прокату часто виступають напівфабрикатом для виробництва холоднокатаних металевих виробів. Основною перевагою гарячекатаного прокату є його відносно низька вартість у порівнянні з холоднокатаним прокатом. Через це він широко використовується в тих сферах, де критичною є насамперед міцність матеріалу, а не ідеальна якість поверхні чи надвисока точність розмірів. Наприклад, у будівництві великих об'єктів для виготовлення несучих металоконструкцій або в машинобудуванні для створення елементів великої товщини та складних форм.

Додатково варто зазначити, що гарячекатаний прокат забезпечує високий рівень пластичності та механічної міцності, що робить його універсальним матеріалом для виробництва конструкційного прокату та напівфабрикатів для подальшої обробки, включно з холодною прокаткою, штампуванням і зварюванням. Його застосування дозволяє оптимізувати виробничі витрати та забезпечує економічну ефективність у масштабних промислових проектах.

#### **6.6.5 Порівняння гарячекатаного і холоднокатаного прокату**

Сьогодні у світі близько 80% всього металопрокату виробляють методом гарячої прокатки. Цей процес потребує менших виробничих зусиль і відповідно менше електроенергії. Завдяки високій пластичності металу під час гарячої прокатки можливо значно зменшити площу поперечного перерізу заготовки за один прохід. Злитки, які часто мають неоднорідну структуру та склад, ефективно обробляються тільки при високих температурах.

Холоднокатана сталь проходить більш тривалий технологічний шлях: спочатку її травлять, а потім передають на прокатний стан. Тому товщина х/к листів зазвичай не перевищує 5 мм, а поверхня має високу рівність. Х/к листи відрізняються однорідною товщиною по всій площі, не містять окалини і не потребують додаткової обробки перед фарбуванням. Під час холодної прокатки метал зміцнюється, що покращує його механічні властивості: х/к листи менше схильні до тріщин при згинанні і мають підвищену міцність на розтягнення та розрив.



Таблиця 6.1 - Порівняння характеристик х/к і г/к листа [23]

	Холоднокатаний лист	Гарячекатаний лист
Поверхня	Рівна, тому використовується там, де в кінцевому продукті це має значення, в т.ч. для металовиробів (метизів) і в приладобудуванні; красива, гладка з металевим блиском, рівна кромка, чіткі кути	Нерівна, найчастіше середина листа «опускається», тому в основному застосовується в будівництві і зварювання металоконструкцій; шорстка, з окалиною та закругленими кутами, без блиску
Напруження в листі	Рівномірна. Це важлива властивість металу будь-якого призначення, особливо для приладо- і автобудування	Нерівномірна. Проте, використовується в машинобудуванні
Матеріал	Зазвичай робиться з низьковуглецевої сталі і має високу пластичність (можна неодноразово і сильно гнути)	Робиться з вуглецевої, низьколегованої сталі. Для виробництва котлів та посудин під тиском використовують також леговані сталі
Використання	– авто- і суднобудування – приладобудування – в будівництві (для отримання профнастилу, покрівельних листів) – виробництво труб	– будівництво (в основному у вигляді несучих покриттів) – машинобудування, в т.ч. судно- і авіабудування
Температурний показник	обкатка г/к листа без нагрівання під впливом преса	прокат 1200 °С з наступним зниженням до 900 °С
Показники товщини	0.5 – 5 мм	1.8 – 150 мм
Міцність	надміцна	середня/висока
Корозійна стійкість	низька, бажано антикорозійний захист поверхні	стійкий завдяки окалині



Натомість гарячекатані листи товщиною понад 3 мм можуть мати помітні коливання товщини, нерівну поверхню, а після охолодження – короблення, що вимагає додаткового рихтування.

Вибір між гарячекатаним та холоднокатаним прокатом залежить від конкретних потреб: для будівництва несучих конструкцій або виготовлення великої важкої техніки перевага на боці г/к сталі, а для оздоблення фасадів, виробництва точних деталей та електроніки – х/к прокат. Гарячекатаний прокат вигідніший за ціною та варіативністю, тоді як холоднокатаний відрізняється високою якістю та естетичним зовнішнім виглядом.

## **6.7 Технологія отримання сортового та фасонного прокату**


Сортовий металопрокат – це довгомірний гарячекатаний профіль, найпоширеніший вид металопродукції. До сортового прокату відносять металеві вироби, які у своєму перетині мають просту геометричну фігуру. Вихідними матеріалами для нього є сталь, алюміній, мідь, інші кольорові метали і сплави. Продукція характеризується широким сортаментом за формою і розмірами, використовується в усіх галузях промисловості. Сталевий металопрокат становить вагомую частку на українському ринку металопродукції, як внутрішньому, так і зовнішньому.

Фасонний прокат визначається як прокат, у якого дотична хоча б в одній точці контуру поперечного перерізу даний перетин перетинає. Тобто, виріб має внутрішні кути. Саме наявність внутрішніх кутів є основною відмінністю фасонного прокату від сортового. Ще однією відмінністю є більш якісна обробка поверхні фасонного прокату в порівнянні з сортовим, тому сортовий прокат частіше є напівфабрикатом під подальшу обробку.

### **6.7.1 Основні відмінності сортового та фасонного прокату**

До них можна віднести:

- Фасонний прокат має певну форму та переріз, у той час як сортовий прокат може мати різні форми та перерізи залежно від конкретних вимог.
- Фасонний прокат використовується для створення конструкцій та виробів певної форми, тоді як сортовий прокат використовується для виготовлення деталей з певними характеристиками та якістю.

- 
- Фасонний прокат проводиться шляхом обробки гарячого або холодного металу, а сортовий прокат зазвичай виходить із заготовок з певними характеристиками через прокат або екструзію.

### 6.7.2 Виробництво сортового прокату

Основними прийомами виробництва сортового прокату є:

- Спосіб поздовжньої прокатки – найпопулярніший, застосовується для більшої частини сортового і фасонного прокату. При поздовжній прокатці, валки обертаються в різних напрямках, захоплюють заготовку, деформують її і зміщують перпендикулярно своїм осям.
- Спосіб поперечної прокатки застосовується для виготовлення спеціальних профілів (кулі, осі і інші). При поперечній прокатці, валки, обертаючись в одному напрямку, надають обертання заготовці і деформують її в поперечному напрямку.

Вихідними заготовками при виробництві сортового прокату є злитки. Перед прокаткою злитки підігрівають до температури 1300 ° С і прокочують на блюмінгу, отримуючи заготовки квадратного перетину зі сторонами від 450x450 до 150 x 150, звані Блюми.

Принцип виробництва гарячекатаного сортового прокату полягає в нагріванні заготовки в печі з подальшою поступовою зміною форми заготовки шляхом послідовної прокатки в клітях з валками, що мають різну форму калібрів.

Потім продукція ріжеться на мірні довжини, охолоджується, піддається приймальним випробуванням з подальшою упаковкою.

Якщо структурувати процес виготовлення, то можна виділити такі стадії:

1. Спочатку заготовку нагрівають до температури 1100-1250°С;
2. Нагріті заготовки подають до робочих поверхонь;
3. Потім здійснюють різання металу;
4. Вироби охолоджують до певної температури, яка дозволяє проводити їх подальшу обробку;
5. Проводять усунення існуючих дефектів;
6. На останньому етапі перевіряють якість виробів і відправляють їх замовнику.



### 6.7.3 Класифікація сортового та фасонного прокату

За формою:

- Простої геометричної форми (квадрат, коло, шестигранник, прямокутник)
- Складної форми – фасонний (швелер, рейки, двотаврова балка, кутник, шпунт, спеціальний профіль та ін.)

За розмірами:

- Великосортний (колонний двотавр і широкополочкова балка, магістральні рейки, кутник, швелер та балка великих перерізів, коло діаметром понад 80 мм, квадрат зі стороною до 250 мм та інші)
- Середньосортний (коло діаметром від 32 до 75 мм, квадрат 32-65 мм, балка і швелер висотою до 300 мм, рейки для вузької колії, різноманітний профіль галузевого призначення, арматура № 32-60 та ін.)
- Дрібносортний (коло і арматура діаметром до 32 мм, швелер висотою до 100 мм, квадрат зі стороною до 30 мм та інші профілі)
- Катанка (діаметром 4-16 мм в бунтах і мотках)

За призначенням:

- Загального призначення: круглий, квадратний і смуговий, кутник, швелер, балка та ін.
- Спеціального призначення: рейки, профіль для суднобудування (наприклад, смугобульб), авто-, вагонобудування, будівництва та ін.

За якістю поверхні він класифікується наступним чином:

- прокат, який підходить для подальшої експлуатації без спеціальної обробки;
- прокат, який вимагає подальшої гарячої обробки;
- прокат, який застосовують для холодної механічної обробки за допомогою спеціального процесу різання.


За міцністю:

- нормальної;
- підвищеної.

За точністю:

- нормальної;
- звичайної
- підвищеної.

За способом обробки:

- 
- гарячекатаний,
  - холоднокатаний,
  - кований,
  - калібрований.

За станом поставки прокат буває:

- термічно оброблений (наприклад, відпалений),
- термічно необроблений.

#### **6.7.4 Застосування сортового і фасонного прокату**

Сортовий прокат отримують з вуглецевих, низьколегованих і легованих сталей відповідно до вимог міжнародних, національних і галузевих стандартів. Залежно від застосування виробів відрізняються їх форма, розмір, механічні та технологічні характеристики.

Квадрат (прут квадратного перетину розміром від 8 до 200 мм) застосовується для виготовлення компонентів машин і конструкцій. Великий переріз використовується в якості заготовки для подальшого отримання сортового і фасонного прокату.


Круглий сортовий прокат (прут круглого перетину з діаметром від 5 до 270 мм) – матеріал для деталей машин (валів, втулок, осей і ін.), для формування кріплень і армування залізобетонних конструкцій. Коло великого перерізу застосовується як заготовка для безшовних труб.

Шестигранник використовується для виробництва кріплення (болти, гайки тощо), деталей машин і механізмів. При цьому особливі бурові пустотілі шестигранники застосовуються в нафтовій промисловості.

Смугобульб застосовується в якості ребра жорсткості при створенні великих конструкцій з металевого листа при будівництві корпусів суден. Завдяки округленій формі і армуючій здібності даний тип сортового прокату забезпечує високу стійкість до вигину нижньої частини корпусу судна.

Кулі сталеві мелючі застосовуються в гірничорудній, вугільній, цементній та інших галузях промисловості в механізмах кульових млинів, виконуючи функцію мелючих тіл.

Арматура являє собою металевий прут, який використовується для армування виробів з бетону. Будучи основною складовою залізобетонних конструкцій, вона визначає міцність, цілісність і надійність споруджуваних будівель.



Катанка застосовується для подальшої перетяжки на дріт з метою виготовлення електродів і дроту для зварювання, канатів, арматурних пасм, фібри та ін. Крім того, катанка використовується як армуючий елемент в ЗБВ, при виробництві телеграфних проводів і тросів.

До фасонного металопрокату відносять вироби:

Двотавр – виріб з перетином у вигляді букви «Н», тобто, двох смуг, з'єднаних перемичкою. Внутрішні межі можуть бути паралельними один одному, або знаходитися під кутом. Двотаврова балка використовується перш за все в будівництві – як перекриття для споруд, опорних конструкцій, мостів, підвісних шляхів та ін. Застосовується також в машинобудуванні, вагонобудуванні та інших сферах машинобудування.

Кутник - універсальний металопрокат у формі літери «Г», з однаковими або різними полками розміром від 20 до 250 мм, застосовується в будівництві для створення дверних і віконних прорізів і арок, декоративних елементів, для арматурного кріплення і посилення бетону стін і перекриттів. Також використовується у вагоно-, автомобілебудуванні, важкому машинобудуванні, меблевій галузі.

Швелер має поперечний переріз у вигляді літери «П», з гранями, розташованими паралельно один одному або під кутом. в основному придатний для будівельної індустрії при монтажі несучих металоконструкцій, перекриттів між поверхами. Також використовується для виготовлення складського і стелажного обладнання, у вагонобудуванні і автопромі.

Рейка – елементи верхньої будови колії, призначені для руху рухомого складу залізниць та метрополітену, трамваїв, локомотивів і вагонеток рудникового транспорту і монорейкових доріг, кранових візків, підйомних кранів та ін.

## **6.8 Технологія виготовлення безшовних труб**

Безшовна труба - це сталевий виріб, в тілі якого немає зварних швів або інших з'єднань. Цілісна структура забезпечує поліпшену міцність і стійкість до різних механічних впливів. Вони незамінні в тих сферах і галузях, де потрібно забезпечувати підвищені показники міцності та надійності.



### 6.8.1 Види безшовних виробів

Виділяють дві основні категорії трубної продукції — гарячекатані та холоднокатані труби. Різниця між ними полягає в тому, що в першому випадку заготовлення спочатку нагрівають для підвищення пластичності, а потім надають йому необхідну форму, охолоджують, калібрують і нарізають. Для холодного прокату метод отримання гільзи схожий з гарячекатаним способом, але останній етап деформації виконується вже після охолодження металу.

Класифікуючи типи безшовних труб, також враховують їхню довжину, товщину стінок, склад матеріалів та інші характеристики.

Кожне підприємство, що виготовляє трубну продукцію, має застосовувати ГОСТ на безшовні труби (гаряча деформація — ГОСТ 8732-78, холодна деформація — ГОСТ 8734-75). Стандарти регламентують довжину (до 12,5 м), зовнішні діаметри (до 550 мм), товщину стінок (до 75 мм), допустиму кривину, розмірні відхилення та інші характеристики. Виробництво безшовної труби за індивідуальним замовленням може здійснюватися з перевищенням параметрів, передбачених затвердженими стандартами.


За співвідношенням діаметр труби / товщина стінки безшовні труби ділять на [24]:

- особливо товстостінні (стінка більше діаметра на 10%);
- товстостінні (стінка становить від 5 до 10% діаметра);
- тонкостінні (2,5 - 5%);
- особливо тонкостінні (менше 2,5%).

Товщина стінки також визначає вид труби: посилена, легка і звичайна. Оскільки подібні труби мають широке поширення і застосовуються в різних галузях промисловості, то часто проводяться не тільки зі сталі, але і з різних сплавів, а також з кольорових металів.

### 6.8.2 Технологія виробництва безшовних труб

Виробництво гарячекатаних труб потребує значних витрат, що відображається на вартості готової продукції. Процес здійснюється на верстатах гарячої прокатки при температурах 950–1100 °С, залежно від марки сталі та специфіки робіт. Заготівлею для гарячекатаних труб служать



злитки круглого перетину. Основні етапи технологічного процесу включають:

Розігрів заготовки – у кільцевих печах з обертовим подом до 900–1200 °С, залежно від марки сталі.

Формування чорної труби (гільзи) – заготовка подається на прошивний стан, де через продавлювання злитка валками та насадження на сталевий стрижень (прошивка) формується порожнина по поздовжній осі.

Розкочування гільзи – зменшення товщини стінок і збільшення довжини труби за допомогою валків прокатного стану, всередині вставляється оправлення для формування внутрішньої поверхні.

Калібрування – підгонка зовнішнього діаметра та товщини стінок відповідно до норм ГОСТ.

Остаточна правка виробу.

Різання – труби нарізають на задану довжину.

Після різання труби піддаються термообробці, яка включає загартування та відпуск.

Холодна прокатка труб дозволяє отримати вироби підвищеної міцності з рівною та гладкою поверхнею, що важливо для трубопроводів та інших комунікацій для транспортування рідин. Холоднокатані безшовні труби мають ряд переваг:

- кращу якість поверхні;
- високу корозійну стійкість;
- здатність витримувати більший тиск середовища;
- меншу товщину стінок (0,08–35 мм).

Заготівлею для холоднокатаних труб слугують гарячекатані вироби. Безшовні труби отримують методом холодного волочіння, коли трубу протягують через спеціальне кільце (волоку). У процесі діаметр зменшується, а якість поверхні значно покращується.

Технологія холоднокатаної прокатки передбачає використання спеціальних станів із періодичним режимом роботи, де робоча кліть здійснює зворотно-поступальні рухи. Виробництво холоднокатаних труб дозволяє за один цикл зменшити площу поперечного перерізу до 87%, що забезпечує високу швидкість, продуктивність та відсутність пошкоджень на поверхні готових виробів.



### 6.8.3 Переваги та недоліки безшовних труб

Безшовні труби характеризуються наступними **перевагами**:


- герметичність, безпека, висока міцність, мінімальний ризик протікання (основоположні переваги);
- відносно невелика вага;
- стійкість до зовнішніх впливів (ударів, деформаційного тиску, хімікатів), перепадів температури, вологості, корозійних процесів;
- нетрудомістке транспортування і монтаж;
- естетичність;
- тривалий період експлуатації;
- широкий асортимент (можливість вибрати відповідну продукцію з необхідними розмірами і характеристиками);
- універсальність (практично необмежений перелік сфер застосування);
- висока якість внутрішньої поверхні;
- точність розмірів;
- відсутність швів по довжині труби;
- стійкість до деформацій та розривів;
- довговічність;
- витримка до високого тиску і температури тощо.

Серед **недоліків** можна виділити високу вартість (виготовлення безшовних труб є дорожчим порівняно з іншими категоріями трубної продукції) і складність виробництва (потрібне обладнання відповідного класу).

### 6.8.4 Сфера застосування

Застосування безшовних труб актуальне для багатьох сфер, зокрема:

- автомобілебудування, суднобудування;
- цивільного і промислового будівництва;
- оборонної, авіаційної, космічної сфери;
- хімічної, харчової, вугільної, важкої, нафтовидобувної промисловості;
- будівництва газопроводів, водопроводів;

- 
- спорудження виробничих конструкцій, елементів машин і механізмів;
  - монтажу гідравлічних, теплообмінних, протипожежних, опалювальних та інших систем.

## **6.9 Технологія виготовлення зварних труб**


Більшість виробників сталевих трубних виробів у якості вихідної сировини використовують метал у вигляді листів товщиною до 5 см або сталеві стрічки різної товщини, згорнутої в рулони. У сучасній економіці перевага віддається зварним трубам, виготовленим із вуглецевої або низьколегованої сталі. Її характерною особливістю є певний вміст вуглецю та мінімальна кількість легувальних елементів. За вмістом вуглецю сталь поділяють на низьковуглецеву, середньовуглецеву та високовуглецеву [25].

Високий вміст вуглецю в матеріалі підвищує міцність зварних труб при звичайних умовах експлуатації. Однак це знижує їх еластичність і підвищує крихкість при низьких температурах, обмежуючи сферу застосування готових виробів.

Сталь із легувальними елементами до 2,5% відрізняється високою міцністю незалежно від умов експлуатації. Трубопрокат із такої сталі має тривалий термін служби та меншу масу при аналогічних розмірах. Використання низьколегованої сталі підвищує вартість готової продукції, але одночасно покращує механічні властивості, зносостійкість і стійкість до корозії. У порівнянні з аналогічними зварними трубами з вуглецевої сталі, додаткові витрати на низьколеговану сталь компенсуються її перевагами в міцності та довговічності.

Технологічний процес виробництва електрозварних труб включає кілька основних етапів:

1. Різка листового металу. Операцію здійснюють за допомогою агрегатів поздовжнього різання, які дозволяють розділяти метал різної товщини та ширини. Таке обладнання забезпечує високу точність ширини смуг, що критично важливо для подальшого з'єднання кромки.
2. Правка смуг. На цьому етапі порізані смуги металу об'єднують у безперервну стрічку методом напіваавтоматичного зварювання під флюсом.



Такий спосіб гарантує формування міцного та пластичного шва з мінімальними дефектами. Готову смугу передають до накопичувача.

3. Формування трубних заготовок. Плоску смугу пропускають через систему горизонтальних валів, щоб надати їй циліндричної форми труби. Під час цього процесу усуваються більшість дефектів поверхні, зокрема хвилястість металу.

4. Заварювання шва. Кромки труби з'єднують методом високочастотного зварювання. Заготівлю нагрівають струмом високої частоти до температури плавлення, після чого стискають обтискними роликми, формуючи міцний і довговічний шов. Високочастотне зварювання може проводитися індукційним або контактним способом.

5. Зняття ґрата. Цей етап покращує зовнішній вигляд труби та підвищує якість зварного шва.

6. Калібрування. Труби піддають калібруванню для усунення овальності та забезпечення точності геометричних розмірів. Для цього вироби охолоджують водою та пропускають через спеціальні калібрувальні вали.

7. Профілювання. Звичайні круглі труби можуть перетворюватися на профільні, отримуючи прямокутну або квадратну форму за допомогою формувальних валів.

8. Порізка. Безперервну трубу нарізають на відрізки заданої довжини на спеціальному верстаті.

9. Контроль якості. На заключному етапі проводять гідравлічні випробування, перевірку стійкості до сплюснення та неруйнівний контроль зварного шва. Також оцінюють стан поверхні труб візуально. Після цього готову продукцію пакують і відправляють на склад або безпосередньо кінцевому споживачу.

### **6.9.1 Різновиди зварних трубних виробів**

Виробництво зварних труб із поздовжнім прямим швом (рис. 6.5, а) здійснюється методом зварювання країв сталевих листів або стрічок, які попередньо згортають у форму труби. Шви таких труб проходять вздовж усієї довжини виробу. Для труб великого діаметра застосовують два шви, оскільки ширина сталевих листів обмежена [25].



а



б

Рисунок 6.5 – Різновиди зварних трубних виробів: труба прямошовна (а) та труба спіралешовна (б)

Спіралешовні труби (рис. 6.5, а) виготовляються з рулонної листової сталі та мають важливу перевагу – можливість випуску труб із великим діаметром до 2,5 м, використовуючи заготовку стандартної ширини. Трубопрокат цього виду характеризується високим відношенням діаметра до товщини стінок, що перевищує 100.

Для виробництва спіралешовних труб застосовують більш просте обладнання порівняно з прямошовними, але при цьому забезпечується висока точність виготовлення. Спіральний шов має додаткову перевагу: у разі аварії він не спричиняє утворення поздовжньої тріщини, яка є найбільш небезпечною для трубопроводу. Це значно полегшує усунення наслідків аварій. Основний недолік спірального шва – його подовжена довжина, що призводить до більших витрат на зварювальні матеріали [25].

### 6.9.2 Способи виготовлення зварних труб

Виробництво зварних труб може здійснюватися кількома способами, серед яких найпоширенішими є: пічне зварювання, електрозварювання та зварювання в захисному газовому середовищі.

Пічне зварювання. При цьому методі сталеві заготовки (штрипси) нагріваються до високих температур у спеціальній тунельній печі, де температура металу досягає близько 1300°C (рис. 6.6). Після печі заготівля охолоджується спрямованим потоком повітря, що одночасно нагріває бічні краї до приблизно 1400°C та очищує їх від окалини, яка могла б

погіршити якість шва. Далі заготівлю направляють на формувально-зварювальний стан, де їй надають потрібну форму. Кромки зварюються під впливом високої температури та тиску. Для підвищення якості шва штрипс повторно пропускають через піч і формувальні валики. Технологія пічного зварювання зазвичай застосовується для виробів гарячого прокату.

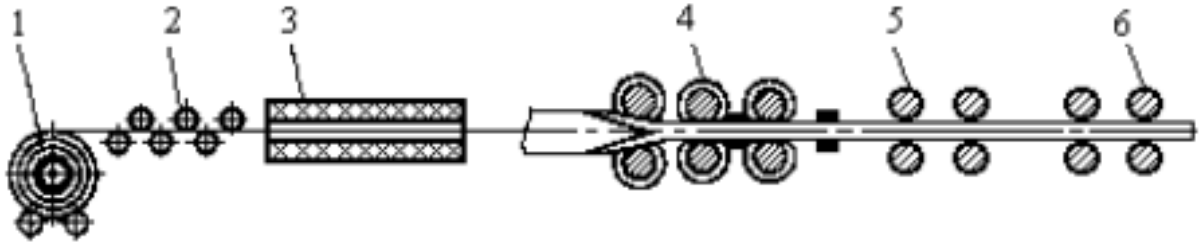



Рисунок 6.6 – Схема пічного зварювання труб: 1 - рулон заготовки, 2 - правильна машина, 3 - нагрівальна піч, 4 - формовочно-зварювальний стан 5,6- обтискні кліті

Електрозварювання. Цей метод вважається найпоширенішим, оскільки дозволяє отримувати труби великого діаметра з тонкими стінками, які мають високоякісний шов і рівну поверхню. На початковому етапі холодні сталеві листи формуються на прокатних станах у трубні заготовки. Для прямошовних труб застосовують валкове або пресове формування, а для спіралешовних – валково-оправочні або втулкові стани. Крайки заготовок зварюють електродуговим способом, отримуючи поздовжній або спіралеподібний шов. Після зварювання знімають ґрати, трубу охолоджують водою, калібрують до потрібного діаметра, а потім перевіряють якість шва візуально та ультразвуком. Додатково проводяться гідравлічні випробування, що підтверджують міцність шва під високим тиском.

Зварювання в захисних газах. Цей метод застосовують переважно для нержавіючої та високолегованої сталі, у яких звичайне зварювання може спричинити карбідизацію легувальних елементів та погіршення якості шва. Для цього використовують аргон, гелій або вуглекислим газом. Газ витісняє повітря з робочої зони, що запобігає взаємодії з атмосферою. Зварювання здійснюють за допомогою вольфрамових електродів, і отримані шви стають єдиним цілим з виробом, забезпечуючи герметичність



і високу міцність. Цей метод разом із електрозварюванням застосовується для виробництва труб холодного прокату.

### **6.9.3 Переваги та недоліки зварних труб**

Зварювання із застосуванням сучасних технологій дозволяє отримувати шви високої якості, які можуть порівнюватися по міцності з суцільнометалевим виробом. Це дозволяє суттєво розширити сферу використання такого трубопрокату і виконувати монтаж в таких місцях, де раніше допускалося застосування тільки безшовних матеріалів. Труби зварні роблять виробничий процес дешевшим, завдяки і технології виробництва, і незначних фінансових витрат.

Зварний трубопрокат відрізняється більш тонкою стінкою, ніж у безшовних виробів. Це дає можливість випускати полегшені труби та заощадити витрати сталі. Більш легкі труби спрощують їх транспортування та монтажні роботи, для яких необхідно менше число одиниць техніки та зайнятих людей. Крім цього готова листована сталь має однакову товщину в будь-якому місці, отже, стінки зварних трубних виробів не будуть мати великі похибки по товщині.

Але даний тип прокату не позбавлений недоліків. Зварна труба витримує тиск, в середньому, на 25-30% нижче, ніж безшовна.

Даний вид прокату не підходить для робіт на вигин. Тому, щоб змінити напрямок магістралі, необхідно користуватися фітингами.

Технологія виробництва передбачає використання низьколегованих вуглецевих сталей, які сильніше піддаються корозії. Щоб уповільнити цей процес, використовується оцинкування, покриття гідроізолом або теплоізоляцією.

### **6.10 Технологія виготовлення спеціального прокату**

Профілі спеціального призначення, вироблені методами прокатки, відрізняються великою різноманітністю. Багато з них проводяться не на металургійних, а на машинобудівних підприємствах. Всі їх можна віднести до двох груп: періодичний і спеціальний прокат. Як правило, всі різновиди спеціальних профілів виробляють на станах поперечної або поперечно-гвинтової прокатки. Принцип прокатки періодичних профілів, що є

заготовками для інших видів обробки, полягає в застосуванні валків, періодично зміщуються в міру просування заготовки. Велику групу заготовок виробляють на станах поперечно-гвинтової прокатки: кулі для підшипникової промисловості, заготовки для шатунів двигунів, ролики, ребристі труби, вагонні осі, суцільнокатані вагонні колеса, зубчасті колеса та ін.

При поперечно-гвинтової прокатки (рис. 6.7) формоутворення відбувається послідовно на великій довжині заготовки, тому форма і розміри поковки виходять більшої точності. При поперечно-гвинтової прокатки відсутні зворотно-поступальні рухи, тому продуктивність цих станів істотно вище, ніж при інших видах обробки тиском, що дозволяє отримувати заготовки такого ж типу, наприклад штампуванням.

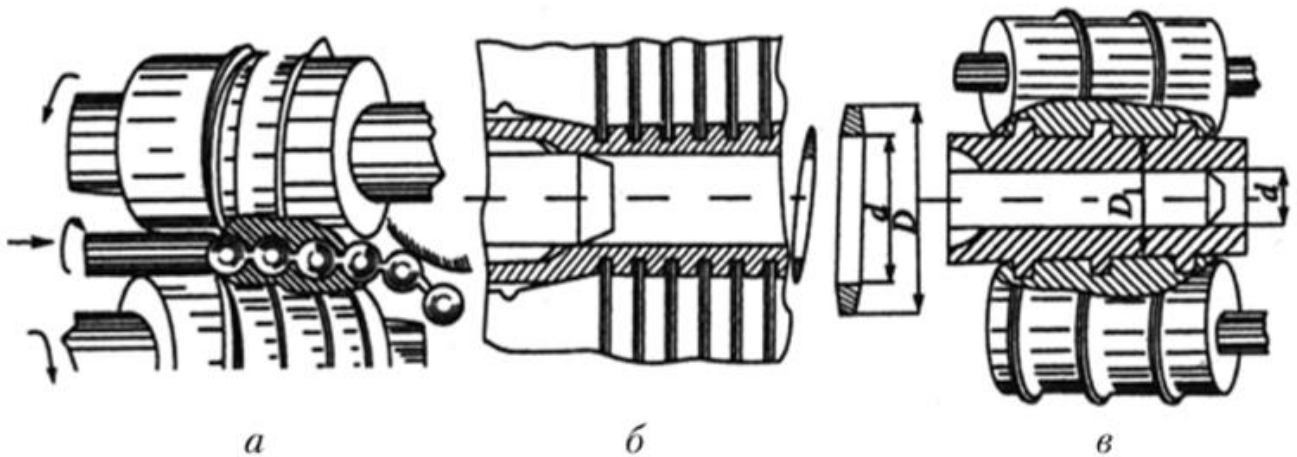


Рисунок 6.7 – Схема отримання поковок поперечно-гвинтовою прокаткою: а - кулі; б - кільцевих поковок; в - профільованих труб

### 6.11 Обладнання прокатного виробництва

Основне обладнання безпосередньо бере участь у процесі пластичної деформації металу, надаючи йому потрібну форму та розміри. Воно забезпечує перетворення заготовок (слябів, блюмів, рулонної сталі) у готовий металопрокат (рис. 6.8).

Допоміжне обладнання забезпечує підготовку заготовки, контроль якості, охолодження, транспортування і обробку готового прокату. Воно не

виконує основну деформацію, але критично впливає на якість і продуктивність виробництва.



Рисунок 6.8 – Класифікація прокатного обладнання

## 6.12 Основне обладнання прокатного виробництва

### 6.12.1 Робочий інструмент при прокатці

Робочі валки - інструмент прокатного виробництва, безпосередньо здійснюють пластичну деформацію металу в гарячому або холодному стані.

Прокатка металу здійснюється за рахунок обертання двох або кількох валків із заданою швидкістю. Між ними пропускають нагрітий до пластичного стану металевий злиток чи заготовку. При проходженні через проміжок між валками метал стискається і витягується в довжину, приймаючи потрібну форму. Регулюючи проміжок між валками, можна отримувати листи, смуги, прутки потрібної товщини. Необхідний профіль прокату може формуватись за один або декілька проходів.

Валки бувають (рис. 6.9):

1. гладкі для прокату листів, стрічок (рис. 6.9, а);
2. ступінчасті для прокатки смугової сталі (рис. 6.9, б);
3. рівчаків для одержання сортового прокату (рис. 6.9, в).

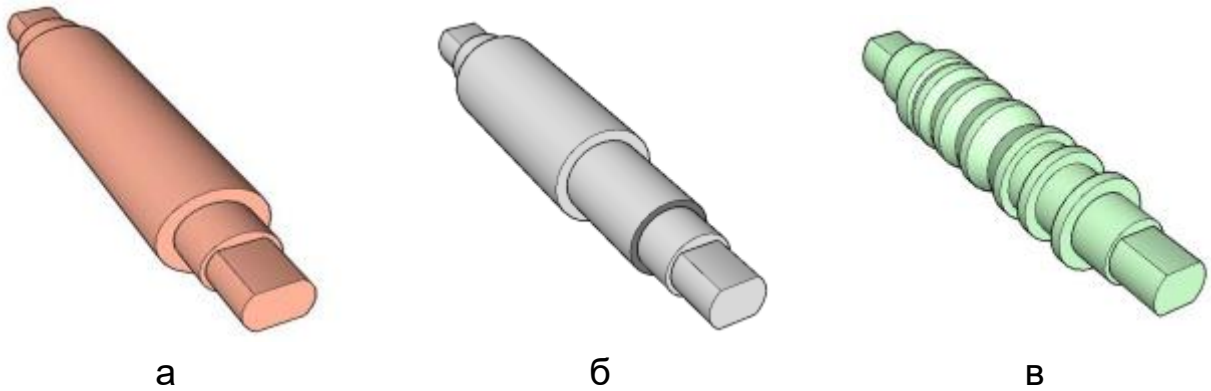


Рисунок 6.9 – Види валків

Профіль вирізу на бічній поверхні валка називається рівчаком. Рівчак верхнього й нижнього валків у сукупності утворюють калібр (рис. 6.10).

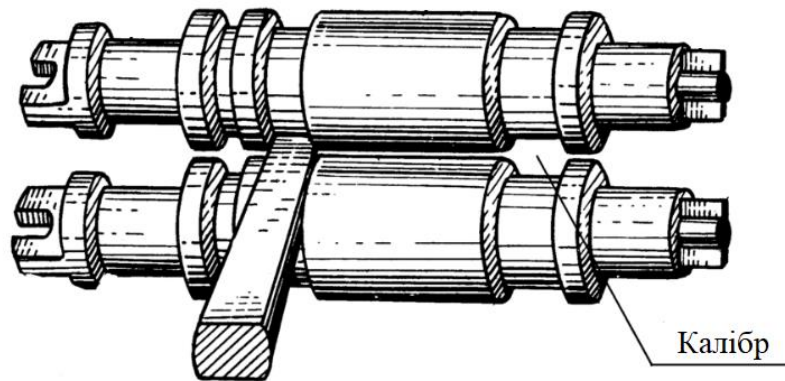


Рисунок 6.10 – Розміщення калібрів на парі валків

На кожній парі валків розміщують кілька калібрів, форма яких залежить від профілю, що прокочує. Складні профілі прокату одержують послідовними пропусками металу через серію калібрів.

Прокатний валок в загальному випадку складається з 3-х основних частин: бочки (гладкою або з рівчакми калібрів), двох цапф для установки підшипників, які називаються шийками і приводного кінця (рис. 6.11).

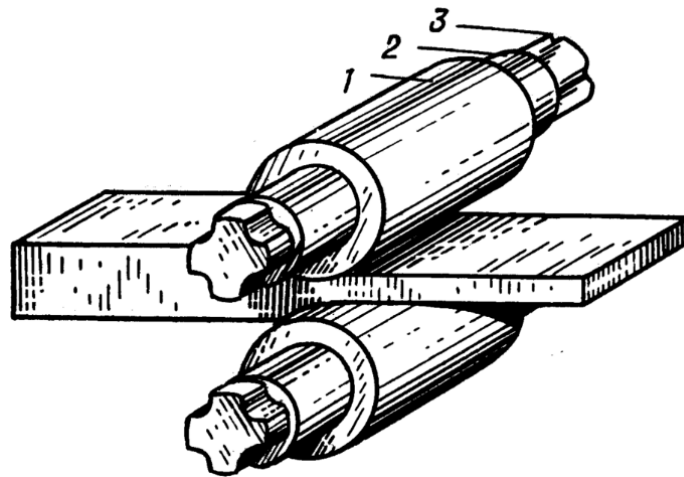


Рисунок 6.11 – Елементи прокатного валка: 1 – бочка, 2- шийка, 3 – приводний кінець


До переваг прокатних валків відносяться:

- надійність та довговічність,
- висока продуктивність обробки металу,
- можливість отримання різноманітних профілів прокату,
- якісна поверхня виробів,
- точність розмірів та геометрії їх поперечного перерізу.

### **6.12.2 Матеріал та виготовлення валків**

Виробництво прокатного валка - складний та багатоступінчастий процес. Заготівлі для нього виготовляють із злитків або сортового прокату методом кування або лиття. Після виливки та вилучення з форм їх обробляють на токарних, фрезерних, шліфувальних верстатах до чистових розмірів. Далі нарізують рифлення або виконують калібрування поверхні за шаблонами. Так як головними вимогами до цих виробів стають підвищена твердість і зносостійкість, обов'язкова для них термообробка.

Після основних робіт фахівці проводять контроль геометрії та розмірів, дефектоскопію кожного прокатного валка. Щоб забезпечити плавність обертання, виконують балансування валків. Після цього залишається зібрати підшипникові вузли, провести попередні випробування на стендах, а потім підігнати і налагодити вже в системі прокатного стану.



Прокатні валки випускають цільними чи складовими (збірними окремих частин). Точність їх виготовлення має бути дуже високою, відхилення не допускаються.

Валки робочих клітей виготовляють із чавуну, сталі або, у випадках, коли потрібна особливо висока твердість, з карбїду вольфраму.

Чавунні валки:

- Переваги: висока зносостійкість та низька вартість (дешевші приблизно у 5 разів), менший коефіцієнт тертя під час прокатки, що знижує енергоємність процесу.

- Недоліки: менша міцність на згин та кручення, погіршені умови захвату металу.

- Види чавунних валків:

1. М'які (незагартовані): виготовляються з сірого чавуну у глиняних опоках; застосовуються в обтискних клітях та чорнових клітях великосортних і рельсобалочних станів.

2. Напівтверді (полузакаленні): відливаються у чавунних кокілях, внутрішня поверхня яких обмазана глиною (~15 мм), що формує поверхневий шар білого чавуну для зносостійкості та м'яку серцевину для амортизації напружень; застосовуються в чорнових клітях сортових і листових станів, а також у чистових клітях великосортних і заготівельних станів.

3. Тверді (загартовані): відливаються без футеровки кокіля, утворюючи товстий загартований шар; використовуються в робочих клітях чистових листових станів та чистових клітях сортових станів.

Сталеві валки:

- Матеріали: литі та ковані, із конструкційних вуглецевих або легованих сталей (наприклад, 50, 55, 55ХН, 60ХН, 4Х2МФ).


- Застосування: у випадках, коли міцності чавунних валків недостатньо; ковані валки використовуються в обтискних, заготівельних і сортових станах, у чорнових клітях НШС та ТЛС, а також як опорні валки в чистових клітях листових станів.

- Покращення зносостійкості:

- Поверхневий наклеп бочок для підвищення циклічної міцності.

- Лазерна обробка поверхні.

- Відновлення бочки після переточування електродуговим наплавленням.



- Литі сталеві валки: відливаються зі сталей з легуванням хромом, марганцем, нікелем або з мікролегуванням ванадієм, кобальтом і вольфрамом. Мікродобавки подрібнюють структуру та підвищують здатність матеріалу до нагартування.

- Ковані валки: застосовуються для станів з великими силами; сталь виплавляють в електропечах та вакуумують, відлиті зливки гомогенізують і обробляють для видалення дефектів перед куванням.

Валки для холодної прокатки

- Матеріал: хромисті сталі з високою твердістю поверхні.
- Переваги: стійкість валків зростає у 2–3 рази, можливе підвищення міцності поверхні шляхом наклепу або лазерної обробки.

### **6.12.3 Якість валків**

Якість валків визначає нормальність та сталість перебігу процесу прокатки та якість прокатних металовиробів. Чим більше твердість бочок валків, тим краще якість оздоблення поверхні прокатуваних штаб. Зі збільшенням твердості зменшується в значній мірі механічні ушкодження бочок валків. З іншої сторони практика експлуатації надтвердих валків в процеї холодної прокатки показує, що надвисока твердість валків приводить до збільшення кількості випадків сколювання та викришування їх бочок.

На стадії лиття матеріалу і якості готового валка здійснюється контроль:

- хімічного складу вихідного матеріалу
- аналіз структури матеріалу валка
- аналіз геометричних розмірів і центричності
- контроль твердості робочої поверхні
- контроль шорсткості робочої поверхні
- структура металу в поверхневому шарі

Таким чином, якість валків повинна відповідати ряду різнобічних вимог:

- достатня міцність і зносостійкість;
- термічна стійкість, жароміцність і жаротривалість;
- якомога вища якість поверхні бочок;

- необхідна твердість та глибина загартованого шару поверхні бочок;
- здатність матеріала валків до обробки різанням різцями або абразивними кругами;
- необхідна точність форми і розмірів;
- оптимальна профіліровка бочок;
- оптимальна форма калібрів і т.і.

#### 6.12.4 Робоча кліть

Робоча кліть - основний механізм прокатного виробництва, в якому здійснюється пластична деформація валками. Від конструкції робочої кліті в значній мірі залежать всі показники роботи прокатного стану: продуктивність, якість продукції, витрата енергетичних і матеріальних ресурсів (рис. 6.12).

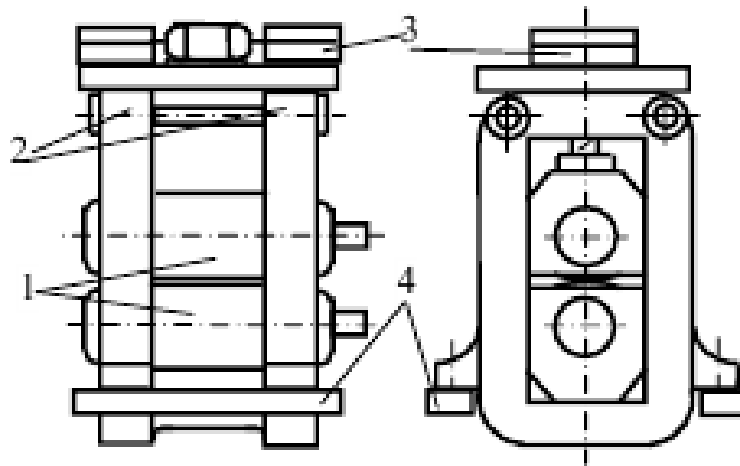



Рисунок 6.12 – Робоча кліть в зборі: 1- валковий комплект, 2- станини, 3- натискний механізм, 4 - плитовини

Незважаючи на величезну різноманітність конструкцій, всі робочі кліті в принципі влаштовані однаково і складаються з наступних деталей і вузлів:

1. Валкового комплекту, що включає валки (робочі та опорні), підшипники валків, подушки (корпуси підшипників).



2. Вузла кліті, що складається з двох станин (лівої та правої по ходу технологічної лінії) і з'єднують їх траверси або шпильки.

Станини - це масивні рами, що сприймають все зусилля, що виникають при прокатці. В отворах станин встановлюються подушки валків.

3. Натискного механізму і врівноважувального пристрою, які різноманітні за конструкцією, але спільно виконують одну і ту ж функцію - зміна розчину валків в паузах між проходами і підтримання його постійності під час проходів. Іноді (для зміни товщини смуги) натискні механізми змінюють розчин валків і під час прокатки.

4. Механізму осьової регулювання і фіксації, який забезпечує необхідну установку валків в горизонтальній площині відносно один одного і станин та утримання їх в цьому положенні під час прокатки.

5. Привалкової арматури - лінійок, проводок, для додання розкатам необхідного положення при вході і виході з валків.

6. Плитовин - масивних лінійок, на які встановлюється кліть з метою зменшення навантаження на фундамент.

### **6.12.5 Визначення головної та технологічної лінії прокатного стану**

Лінію, на якій розміщується основне обладнання, прийнято називати головною лінією прокатного стану.

До ключових елементів головної лінії (рис. 6.13) належать: робочі кліті, передавальні механізми та двигун.

Сучасний технологічний процес прокатного виробництва включає дві основні стадії:

1. Отримання напівфабрикатів (заготівок).
2. Виготовлення готової продукції.

За складом обладнання та виконуваними функціями технологічну лінію прокатки поділяють на три дільниці:

1. Підготовча дільниця – на ній вихідні матеріали готують до обробки тиском обраним методом прокатки.
  - Для гарячої прокатки це нагрівальні печі.
  - Для холодної прокатки – безперервні лінії травлення металу для видалення окалини за допомогою кислотних розчинів.

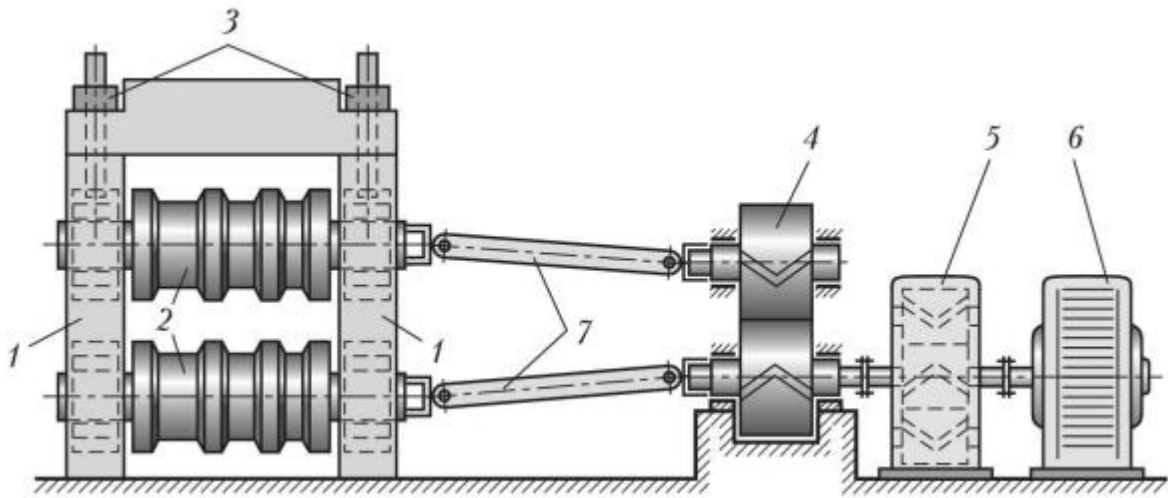


Рисунок 6.12 – Робоча лінія прокатного стану: 1 – станина, 2 – валки, 3 - натискні механізми, 4 - шестеренна кліть, 5 – редуктор, 6 – електродвигун, 7 - шпинделі

2. Технологічна ділянка (ОМТ) – зазвичай представляє собою одно- або багатокітвий прокатний стан, де відбувається основна обробка металу.

3. Закінчувальна (поточна) ділянка – включає обладнання для завершення технологічного процесу: відвідні рольганги, душуючі установки, холодильники, ножиці, моталки тощо. Тут виконуються всі остаточні операції над виробом.

### 6.13 Прокатний стан

Прокатний стан - це комплекс машин і агрегатів, призначених для здійснення пластичної деформації металу у валках, його подальшої обробки, тобто різки, правки, зачистки, упаковки і т.д. і транспортування.



### 6.13.1 Класифікація прокатних станів за призначенням

Обтисково-заготівельні стани:

1.Блюмінг – обтисковий стан для переробки сталевих злитків в блюми перетином більше 125\*125 мм.

2.Слябінг – обтисковий універсальний стан для переробки крупних сталевих злитків в сляби шириною більше 700 мм і завтовшки більше 75 мм

3.Блюмінг – слябінг – обтисковий універсальний стан для переробки сталевих злитків в блюми і сляби, відмінний високим підйомом верхнього валка (до 1200 мм).

4.Безперервний заготівельний стан – характеризується тим, що послідовним розташовує клітей, призначений для безперервного прокатки з блюмів заготовок квадратного перетину від 5050 мм до 150150 мм.

5.Трубозаготовочний стан – для прокатки з блюмів заготовок суцільного круглого перетину діаметром 70-350 мм (для виробництва безшовних труб), а так само квадратних заготовок завтовшки 75-125 мм.

Сортові стани:

1.Рейкобалочний (сортний) стан – з валками діаметром 750-900 мм – для виробництва круглого профілю діаметром 80-300 мм, двотаврових балок, швелерів і інших важких профілів.

2.Великосортні стани – валки 500-750 мм для виробництва квадратних і круглих профілів розмірами 80-200 мм, двотаврових балок і швелерів до № 30.

3.Середньосортні стани – д. валів 300-500 мм, квадратний і круглий, розмірами 30-100 мм, швелер № 12.

4.Дрібносортні стани – діаметром валів 250-350 мм круглий до 20 мм, квадрат із стороною до 18 мм, смуг завтовшки до 25 мм і кут до № 5.

5.Дротяний стан - для прокатки дроту-катанки діаметром від 5 до 10 мм

6.Смуговий (штрипсовий) стан – для виробництва смугової сталі до 1,5-1,2 мм шириною до 400 мм

Листові стани:

1.Товстолистовий стан – для виробництва листів завтовшки до 40-50 мм і шириною 3000-4000 мм



2.Листові стани гарячої прокатки – лист  $h = 1,5 - 1,2$  мм,  $b=1000 - 2350$  мм (маса рулону до 10 тонн).

3.Листові стани холодної прокатки – лист  $h = 0,5 - 2,5$  мм

Трубопрокатні стани:

1.Для виробництва цельнокатаних (безшовних) труб;

2.Пілігримівий стан – для гарячої прокатки товстостінної гільзи в тонкостінну трубу;

3.Редуційний стан – для зменшення діаметра труб унаслідок збільшення довжини труби, без зміни товщини стінки труби;

4.Розширювальний стан для збільшення діаметра труби із зменшенням товщини її стінки;

5.Прокатний стан для отримання рівної стінки труб, усунення місцевих потовщень;

6.Калібрувальний стан – для остаточного калібрування труб по зовнішньому діаметру і усунення еліпсу, одержуваного на стані розкату.

Стани для холодного прокатування:

1.Стрічко- прокатний стан – шириною до 250 мм.

2.Фольгопрокатний стан –  $h$  до декількох мікронів (із сталі і кольорових металів).

3.Плющильний стан – спеціальна вузька стрічка і круглий дріт.

4.Дресировочний стан для прокатки з метою зміцнення поверхні прокату.

### **6.13.2 Класифікація прокатних станів за кількістю валків**

Двохвалкові кліті ( дуо)– кліті, що мають два горизонтально розташованих валка, бувають реверсивні і неревверсивні (рис. 6.13, а).

Кліті трьохвалкові (тріо) (неревверсивні) – застосовуються на сортових станах. Середній вал меншого діаметра – не приводний – кліть тріо Лаута (рис. 6.13, б).

Чотирьохвалкові кліті (кварто)– валки розташовані один над іншим. Робочі – меншого діаметра, опорні – більшого. Опорні – для збільшення жорсткості системи, це підвищує точність і покращує площинність листів. Кліті неревверсивні (рис. 6.13, в).

Багатовалкові кліті – широко застосовуються 20-ти валкові кліті. Завдяки використанню робочих валків малого діаметра і великої жорсткості

всієї робочої кліті і валкової системи на цих клітях здійснюють рулонну прокатку тонкої і якнайтоншої стрічки з високо вуглецевої сталі ( $h=5-100$  мм,  $b=100-1500$  мм). Робочі валки – суцільні. Вони спираються на ряд приводних валів з великим діаметром, а останні – на ряд опорних валків (рис. 6.13, г).

Універсальні кліті – кліті з горизонтальними і вертикальними валками. Їх застосовують як реверсивні двохвалкові (слябінги) або чотирьохвалкові (кліті чорнової групи стану прокатки широкої смуги) .На відмінну від звичайних універсальних клітей в універсальній кліті для прокатки широкосмугової сталі, вертикальні валки є неприводними і знаходяться між опорами підшипників горизонтальних валків і в одній площині з останніми (рис. 6.13, д).

Кліті спеціальної конструкції. До цієї групи відносяться кліті смугопрокатних, кільце прокатних, кулькопрокатних станів, станів для прокатки змінного перетину (рис. 6.13, е).

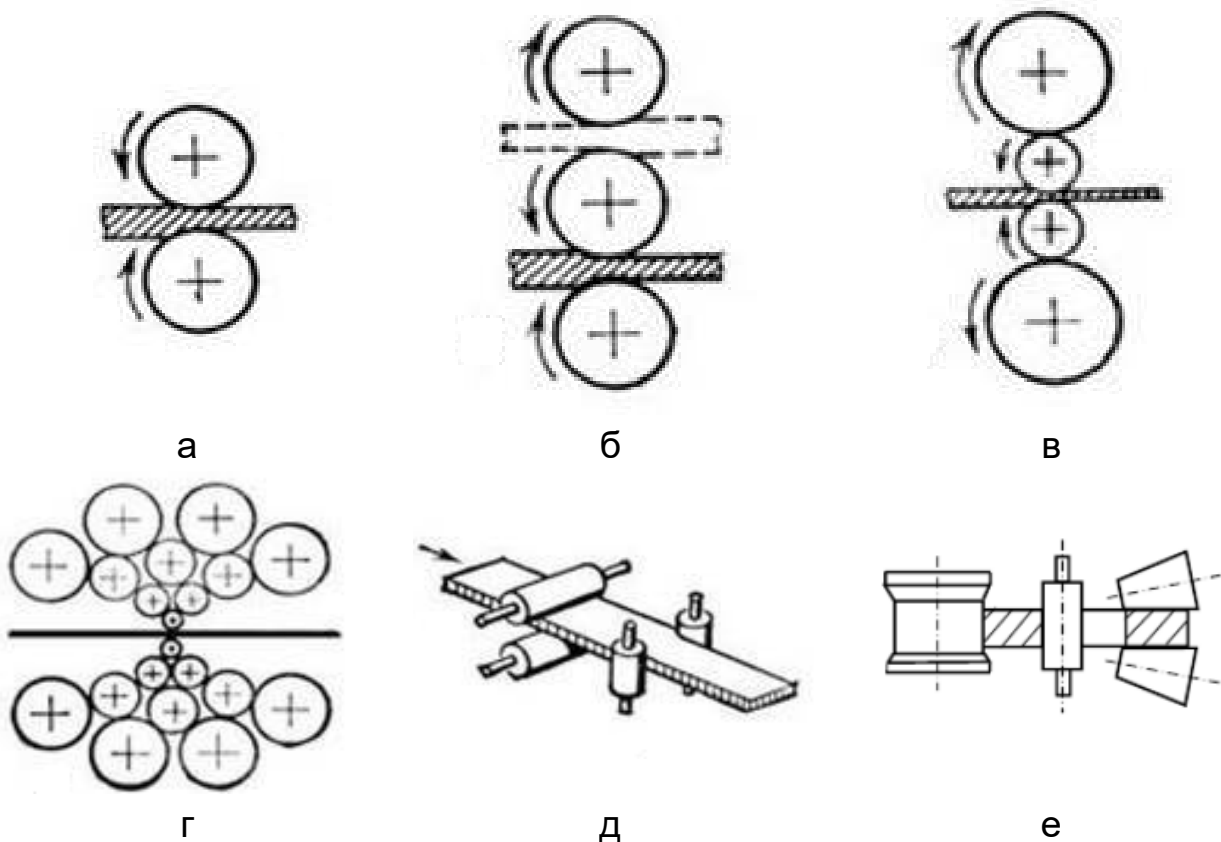


Рисунок 6.13 – Класифікація прокатних станів за кількістю валків

### 6.13.3 Класифікація прокатних станів за кількістю та розташуванням клітей

Одноклітьові стани – часто одна робоча кліть. Лінія приводу валків складається з шпинделів, шестерінчастої кліті, редуктора, муфти і електродвигуна. До таких станом відносяться: блюмінги, слябінги, ТЛС, листові холодного прокатки (рис.6.14, а).

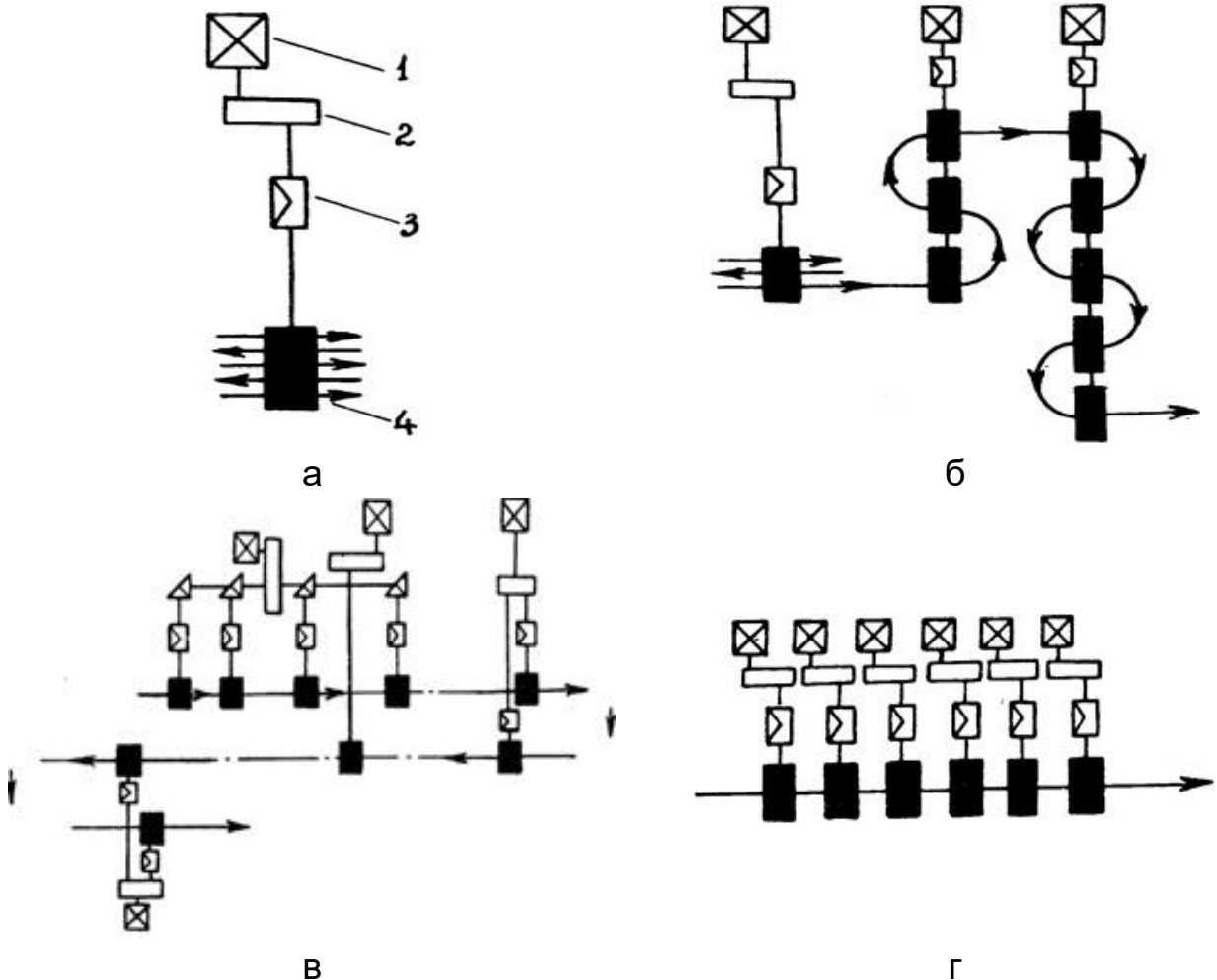


Рисунок 6.14 – Класифікація прокатних станів за кількістю та розташуванням клітей: 1 – двигун, 2 – редуктор, 3 – шестерня, 4 – робоча кліть

Лінійні стани – робочі кліті розташовані в одну або декілька ліній, при чому кожна лінія приводиться від окремого приводу. Стани такого типу нереверсивні стільникові, включаючи рейкобалочні і дротяні (рис.6.14, б).



Послідовні стани. Прокатувана смуга в кожній кліті стану проходить тільки один раз, тому число клітей повинне бути рівно максимальному числу проходів, необхідному для обжимання заготовки в готовий профіль (рис.6.14, в). З метою скорочення довжини цеху кліті розташовують в декілька рядів, наприклад в три ряди (стани кросс-коунтри). Різновидом станів цього типу є шаховий стан, в якому послідовні кліті розташовують в шаховому порядку. Стани цієї групи застосовуються для прокатки сортових профілів.

Напівбезперервні стани. Ці стани складаються з двох груп клітей: безперервної і лінійної. В одній групі клітей смуга прокочується безперервно, тобто вона може знаходитися одночасно в двох, трьох клітях. В іншій групі прокатка здійснюється за принципом послідовних станів. Застосовують для прокатки дрібного сорту, дроту і для прокатки тонких широких смуг.

Безперервні стани. При прокатці повинна дотримуватися частота обертання валків і підбиратися так, щоб витрата металу в одиницю часу в будь-якій кліті була постійною (рис.6.14, г).

За режимом роботи прокатні стани діляться на нереверсивні (частота та напрямок обертання валків постійні), до яких відносять безперервні, лінійні і реверсивні (прокатку здійснюють в прямому і зворотному напрямку за рахунок зміни напрямку обертання валків). До реверсивних відносять блюмінги, слябінги, заготівельні і товстолистові стани.

## **6.14 Обтискні стани**

Обтискний стан — прокатний агрегат, на якому великі сталеві зливки обтискують на блюми, сляби та фасонні заготовки, з яких на інших прокатних станах виготовляють прокат. До обтискних станів належать блюмінги, блюмінги-слябінги та слябінги. На блюмінгу можна прокатувати і блюми, і сляби, а на слябінгу— тільки сляби.

З розвитком безперервного розливання сталі на МБЛЗ значення обтискних станів значно скорочується, і їх використовують для виробництва спеціальних сортаментів, які не виробляють МБЛЗ, або на застарілих підприємствах. Схеми розташування устаткування слябінгів і блюмінгів в основному ідентичні; тільки в слябінгів замість робочої двохвалкової кліті (як у блюмінга) встановлюють універсальну робочу кліть,



а конструкції устаткування відрізняються головним чином своїми розмірами й технічними характеристиками.

### **6.14.1 Блюмінг**

Блюмінг - прокатний стан для обтиснення злитків великого поперечного перерізу на заготовки квадратного та прямокутного перерізу (блюми). В даний час у світі блюмінги практично не застосовуються (за винятком України) внаслідок великих втрат металу, викликаних обрізом, головною та донною частин зливка, а також втратами з окалиною.

Блюмінг - великий, важкий обтискний стан для попереднього обтискання сталевих злитків великого поперечного перерізу блюми.

Складається з робочої кліті з пристроями для переміщення і кантування зливків, привода валків робочої кліті, рольгангів, ножиць та інших допоміжних механізмів.

Блюмінг поділяються на

- великі двовалкові (валки діаметром 1100—1350 мм);
- малі двовалкові (валки діаметром 900—1000 мм);
- тривалкові (валки діаметром 700—900 мм).

За кількістю клітей двовалкові блюмінги поділяються на


- одноклітьові,
- двоклітьові (тандем)
- багатоклітьові безперервні.

Загальна вага устаткування блюмінгу досягає 5000 т.

Блюмінги зазвичай характеризуються діаметром прокатних валків і є станом «дуо», тобто з двома валками і рідше встановлюються «тріо», тобто з трьома валками. Величезне значення блюмінгу полягає в наступному: сучасні мартенівські та конвертерні печі характеризуються дуже великим тоннажем, отже вилівок дрібних злитків (в 1-2 т) з подібних печей не економічний і технічно скрутний.

Технологічний процес прокатки в цеху Блюмінг включає:

- доставку гарячих злитків на залізничних платформах із сталеплавильного цеху до нагрівальних колодязів;
- підігрів злитків у вертикальному положенні в колодязях до 1100-1300°C (залежно від марки сталі);

- 
- подачу кожного зливка на злитковозі до приймального рольгангу Блюмінг;
  - зважування зливка та подачу його по рольгангу до валків Блюмінг;
  - прокатку в 11-19 проходів з обтисканням 40-120 мм за прохід і проміжними кантівками на 90° (кантовка та переміщення смуги вздовж валків здійснюються маніпулятором).

У смуги, що надійшла до ножиць, відрізають передній і задній кінці, після чого вона передається на стани заготовки. Часто смугу розрізають на окремі блюми або сляби, які передаються рольгангами на холодильник і потім склад. Вихід блюмів та слябів становить 85-90% маси злитків. Застосування Блюмінгу дозволяє розливати сталь у великі зливки, підвищує якість готового прокату.

Блюмінг включає дві міцні станини, виконані з чавуну і скріплені в жорстку систему. У станинах встановлюються два валка, діаметр яких становить від 1 до 1,5 м. Для верхнього валка конструкцією передбачена можливість його підйому і опускання, за рахунок спеціального електричного пристрою, який дозволяє гнучко пристосовуватися до товщини зливка, що прокатується.

Розглянемо схему блюмінга 1300 (рис. 6.15). Він розташований в чотирьох прольотах – пічному (I), становом або головному (II), машинному (III), скрапном (IV) і ад'юстажном (V). Злитки зі стрипперного відділення сталеплавильного цеху надходять в пічний проліт.

Мостовим кліщовим краном злитки садять в нагрівальні колодязі 1. До 90% злитків садять в колодязі в гарячому стані, що приблизно вдвічі скорочує час нагрівання злитків і відповідно витрата палива і втрати металу в окалину. Залежно від температури розрізняють злитки гарячого посаду, теплого і холодного посаду з температурою відповідно вище 800°C, від 400 до 800°C і нижче 400°C. З колодязів нагріті злитки кліщовим краном укладають на злитковози 2. Бічним штовхувачем зі злитковозів злитки зіштовхують на поворотний стіл, далі на приймальний рольганг 3 і по ньому передають в становий проліт до блюмінга 5, де їх прокочують на блюми або сляби. Головною особливістю блюмінга є можливість підйому верхнього валка між проходами на висоту до 1500 мм і реверсу валків, що забезпечує прокатку зливків в прямому і зворотному напрямках до отримання розкатів заданих розмірів.

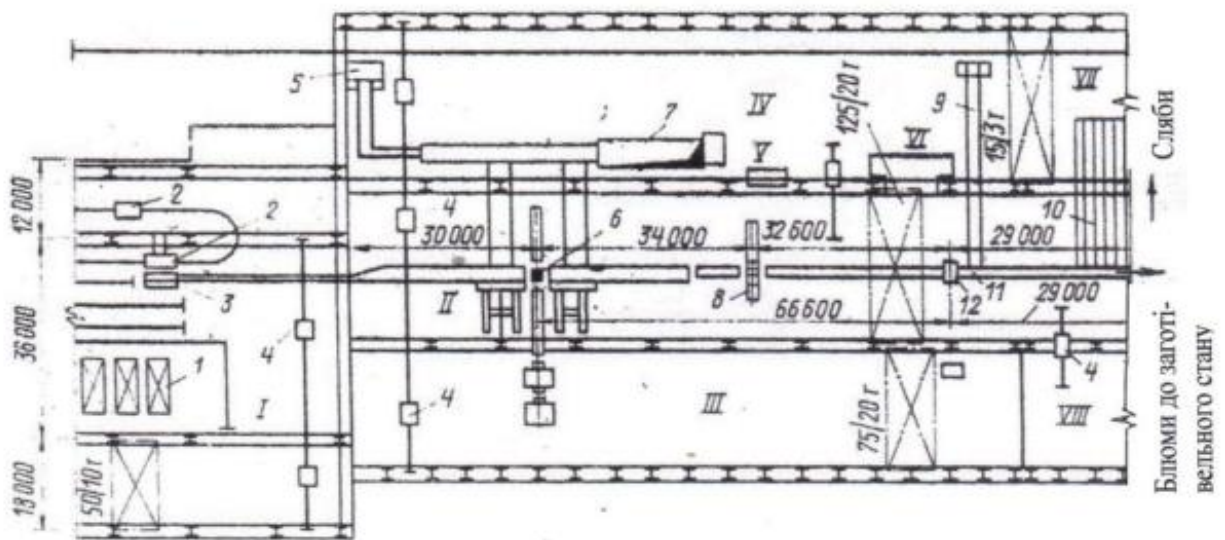


Рисунок 6.15 – Схема блюмінга 1300 з кільцевою зливкоподачею: I – прольот нагрівних колодязів; II – прольот стана; III – електромашинний зал; IV – скрапний прольот; V – склад слябів; 1 – нагрівні колодязі; 2– зливковози; 3 – приймальний рольганг; 4 – бункер для окалини; 5 – робоча кліть блюмінгу; 6 – яма для окалини; 7 – машина вогневого зачищення; 8 – ножиці; 9 – конвеєр для прибирання обрізі; 10 – рольганг; 11 – ад’юстаж (відвантаження)

За блюмінгом розташовані машина вогневої зачистки 7 і далі – ножиці 8. На машині вогневої зачистки (МВЗ) видаляють поверхневі дефекти. В залежності від площі і глибини зачистки втрати металу становлять до 3%. На ножицях видаляють передній і задній кінці розкату і ріжуть його на мірні довжини. Тут же передній торець кожного блюма і сляба клеймом наносять паспортні дані злитка. Головну і донну обрізь з під ножиць похилим транспортером 9 передають у скрапний проліт на залізничні платформи.

Від ножиць частина блюмів по рольгангу 10 направляють на безперервно-заготівельний стан (БЗС), а інша частина і сляби по транспортеру 11– на ад’юстаж для охолодження, зберігання та відвантаження.

Існує два способи розташування калібрів на валках блюмінгу (рис. 6.16):

- послідовне – широкий калібр розташовується з краю бочки валка;
- симетричне – широкий калібр розташовується посередині.

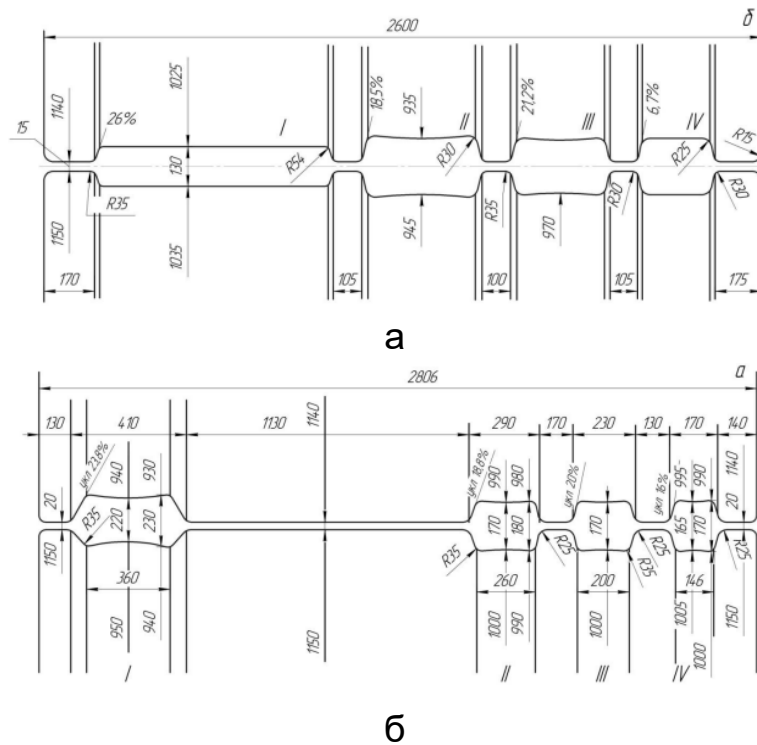



Рисунок 6.16 – Способи розташування калібрів на валках блюмінгу:  
 а – послідовне, б – симетричне

Переваги симетричного розташування: підшипники мають більш рівномірне навантаження. Недоліки симетричного розташування: зменшується продуктивність прокатного стану, бо збільшуються паузи на переміщення смуги від калібру до калібру. Симетричне розміщення калібрів використовують, коли у сортаменту блюмінгу є сляби.

### 6.14.2 Слябінг

При великих масштабах виробництва листової сталі – основне обтискне обладнання – слябінг. Слябінги за складом і розміщенням обладнання багато в чому аналогічні блюмінгу. Головною відмінністю слябінга є наявність крім горизонтальних валків пари вертикальних, розташованих перед або за кліттю. Крім того валки слябінга не калібровані, а гладкі.

Це універсальні реверсивні стани, що мають дві пари гладких валків, горизонтальних та вертикальних; основне обтиснення металу




здійснюється горизонтальними валками. Слябінги можна розрізнати за взаємним розташуванням горизонтальних і вертикальних валків. Те чи інше взаємне розташування горизонтальних та вертикальних валків визначає схему та деякі особливості технологічного процесу деформації.

Прокатка металу на слябінгах здійснюється одночасно у вертикальних та горизонтальних валках, тобто є безперервною. При цьому в загальному випадку, щоб метал не відчував значних стисків або розтягувань, потрібна підтримка постійного співвідношення швидкостей горизонтальних і вертикальних валків (зауважимо, що ці співвідношення швидкостей під час руху розкочування від вертикальних до горизонтальних валків і у зворотному напрямку будуть різними через більшу витяжку у горизонтальних валках). Однак на слябінгах прокочуються відносно великі перерізи, тому зусилля стиснення або розтягування гуркотів, пов'язані з відхиленням співвідношення швидкостей від встановленого, не мають істотного впливу на якість слябів, що прокочуються. Разом з тим необхідно враховувати можливе навантаження двигуна вертикальних валків менш потужного, ніж двигун горизонтальних валків. Тому для приводу вертикальних валків використовуються двигуни з м'якою механічною характеристикою.

На слябінгах вертикальні валки можуть розташовуватися перед горизонтальними валками і за ними. При цьому важливим є те, щоб оператори головного поста управління краще могли бачити деформацію металу і у вертикальних, і горизонтальних валках, а для цього ближче до головного посту повинні бути вертикальні валки. І все ж краще таке розташування валків, при якому останнє обтиснення гуркотів здійснюється у вертикальних валках, які з метою більш високої технологічності повинні бути на задній стороні табору, тобто з боку ножиць. Вертикальні валки сприяють усуненню конусності злитків у перших проходах, здійснюють обтискання гуркотів по ширині (знімають розширення) у наступних проходах. При здійсненні останніх обтискань розкочування у вертикальних валках бічні грані готових слябів отримують прямокутне обрис, що сприяє кращому проштовхування слябів в нагрівальних печехлистопрокатних станів.

Технологічний процес у цеху, де встановлений Слябінг, включає наступні операції:

- 
- доставку гарячих злитків зі сталеплавильного цеху до нагрівальних колодязів;
  - підігрів злитків у вертикальному положенні в колодязях до 1100-1280°C (залежно від марки сталі);
  - подачу злитків за допомогою злитковозів до приймального рольгангу Слябінга;
  - зважування та подачу зливка до валків Слябінгу;
  - прокатку слябу в універсальній клітці за 19-31 прохід з обтисканнями горизонтальними валками на 50-120 мм за прохід та зняттям розширення вертикальними валками; вогневе зачищення поверхні металу в потоці;
  - різання на сляби необхідної довжини;
  - таврування та передачу слябів по рольгангу на проміжний склад для охолодження та огляду або до ширококутового стану гарячої прокатки листів, встановленого безпосередньо за Слябінгом.

До складу власне Слябінга входять робоча клітка, двигуни та механізми приводу та перевалки валків. До допоміжного обладнання Слябінга відносяться злитковози, рольганги, машина вогневої зачистки слябів, ножиці для різання слябів, холодильники, штабелювальники та інші механізми.

Стан 1250 (рис. 6.17) призначено для виготовлення слябів товщиною 150...300 мм, шириною 750...1850 мм і довжиною 2,5...10,5 м. Для прокатки слябів використовують зливки масою 18...38 т.

Перед прокаткою зливки нагрівають у нагрівальних колодязях 1. Тут на спеціальній естакаді, піднятій на 3,5 м над рівнем підлоги цеху, розміщено 12 груп колодязів по чотири камери в кожній. Продуктивність однієї камери 120-150 тис.тонн за рік при температурі посаду зливків 800-900°C. Нормальною вважається робота нагрівальних колодязів з 95% гарячого посаду зливків. Зливки залежно від марки сталі нагрівають до 1100-1250°C.

Нагріті до температури прокатки зливки витягують кліщовими кранами і кладуть на злитковоз 2. Кришки колодязів відкривають і закривають підлоговокришковим краном. Злитковоз переміщається по кільцевому шляху 2 з максимальною швидкістю на прямолінійній ділянці до 5,4 м/с. На замкненому кільцевому шляху звичайно знаходиться чотири злитковози. Кожний з них доставляє злинок до приймального рольганга 3 і

зупиняється у місця вивантаження. Із зливковоза зіштовхувачем зливок скидають на приймальний рольганг 3, який транспортує його до робочої кліті 6. По шляху проходження зливок зважують на вагах 4.

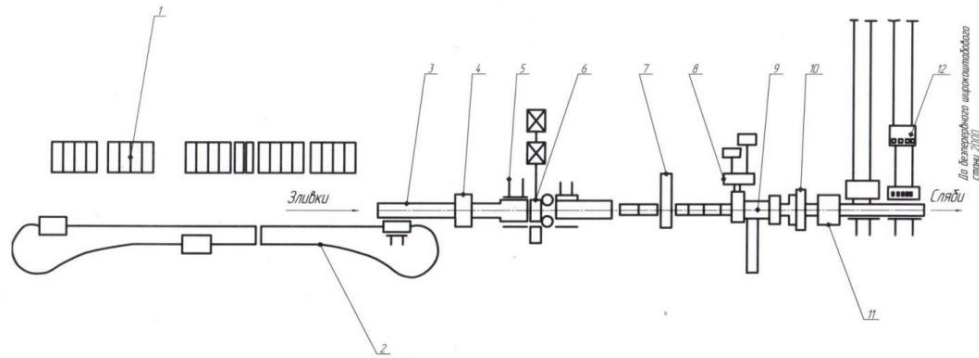



Рисунок 6.17 – Схема розміщення устаткування слябінга 1250: 1 – нагрівальні колодязі; 2 – кільцева зливкоподача; 3 – приймальний рольганг; 4 – ваги; 5 – маніпулятор кантувач; 6 – універсальна робоча кліть 1250; 7 – машина вогневої зачистки; 8 – ножиці з зусиллям різання 28 МН; 9 – конвеєр прибирання обрізків; 10 – клеймувальна машина; 11 – ваги слябів; 12 – прибирання слябів

У робочу універсальну кліть зливок задається «на ребро» для одержання при прокатці в горизонтальних валках потрібної ширини слябу. Потім зливки кантують за допомогою маніпулятора-кантувача 5 на  $90^\circ$  і ведуть прокатку з абсолютним обтиском 70-80 мм при швидкості прокатки від 2,0 до 4,2 м/с. Ритм прокатки одного зливка становить 100- 140 с, двох зливків – 150-200 с.

Універсальна кліть слябінга 1250 включає горизонтальні валки діаметром 1250 мм і довжиною бочки 2400 мм. Привод обертання кожного валка індивідуальний від двоякірного електродвигуна потужністю 2х3750 кВт з частотою обертання 45-80 об/хв. Вертикальні валки кліті мають діаметр 1000 мм і довжину бочки 2300 мм. Привод їх індивідуальний від вертикальних електродвигунів потужністю 2500 кВт з частотою обертання 60/110 об/хв.

Після прокатування в обтискних клітях сляб передають на машину вогневого зачищення 7, яка призначена для зачистки сляба за його рухом.



Поверхню слябу зачищають від тріщин, закатів окалини і раковин вогневим різанням шляхом оплавлення і виведення поверхневого шару металу.

Розрізання розкату на мірні частини і обрізання дефектних кінців виконують ножицями 8 з зусиллям різання 28 МН. Обрізки переднього і заднього кінців в розкаті складають 10-15 % маси початкового зливка. Їх збирають ланцюговим конвеєром 9 і вантажать у вагони.

Мірні сляби клеймують на клеймувальній машині, зважують на вагах 11 і прибирають.

### **6.14.3 Блюмінг-слябінг**

Блюмінг-слябінг — обтискний стан для обтискування сталевих зливків великого поперечного перерізу на квадратні заготовки — блюми та плескаті прямокутні заготовки — сляби. На блюмінгу-слябінгу обробляють зливки масою від 7 до 40 т.


Порівняно з блюмінгом у блюмінга-слябінга більші висота підйому верхнього валка (до 2130 мм) і довжина робочої частини (до 3505 мм), що зумовлено прокаткою слябів великої ширини (до 2000 мм) і товщини (до 950 мм). Продуктивність блюмінга-слябінга менша, ніж слябінга. В зв'язку з цим використання його може бути доцільним лише в тих випадках, коли на заводі виробляється сортовий і листовий прокат, однак обсяг листового виробництва невеликий.

### **6.15 Прокатні стани для виробництва листової металопродукції гарячою прокаткою**

В цехах з товстолистовими станами (ТЛС) плити прокатують із зливків, а товсті листи - із слябів, отриманих безперервною розливкою або прокаткою.

Будівництво ТЛС зумовлено все більшим попитом на листи великої ширини, основними споживачами яких є:

- хімічне машинобудування для виробництва ємкостей, цистерн;
- енергетична промисловість для виробництва кожухів ядерних реакторів із високоміцних сталей та для виготовлення котлів реакторів і теплових електростанцій із низько- та мікролегованих сталей;
- суднобудівна промисловість;

- 
- мостобудування для довголітніх мостів, де використовують листи і листи з високою міцністю;
  - виробництва зварювальних труб великого діаметра для магістральних нафто-, газо- і водоводів.

З огляду на появу та розвиток прокатних станів, то як раз першими станами були саме товстолистові стани для прокатки броні для перших в світі металевих броненосців. Першими агрегатами були стани з дошкою та одним приводним валком, потім в якості ТЛС з'явилися двовалкові кліти з діаметром валків 800 – 1000 мм. Кліти дуо внаслідок великих прогонів валків не забезпечували прокатку листів з прийнятною поперечною різнотовщинністю та якістю форми. Крім того, внаслідок відносно великих діаметрів бочок валків разові обтиски (за прохід) були малими. Наступним кроком розвитку ТЛС були агрегати з тривалковими клітями – тріо Лаута, кліть тріо – Лаута мала середній неприводний валок діаметром 500 – 800 мм, а також верхній і нижній приводні валки діаметром 700 – 1100 мм. Прокатка проводиться на станах з кліттю Лаута з більшими разовими обтисками порівняно з клітями дуо, але жорсткість валкового вузла також виявилася недостатньою і точність розмірів та якість форми листів не відповідають сучасним вимогам. З огляду на це на сучасних ТЛС використовують кліти підвищеної жорсткості з чотирма валками – кліти кварто. Середні робочі приводні валки відносно невеликого діаметра забезпечують прокатку зменшеним зусиллям, а неприводні опорні валки утворюють високу жорсткість вузла і кліти в цілому, забезпечуючи високу точність розмірів і покращену якість форми товстих листів.

Технологічна лінія сучасного ТЛС по ходу прокатки складається із кліти з вертикальними валками та двох клітей кварто – чорнової і чистової установлених послідовно одна за іншою. Типовим представником три клітьового сучасного ТЛС є стан 3600 металургійного комбінату “Азовсталь” м. Маріуполь.

На рисунку показано план розміщення устаткування товстолистого триклітьового стану 3600 (рис. 6.18), призначеного для гарячої прокатки товстих листів товщиною 5...50 мм, шириною 2000..3200 мм і довжиною 6...28 м із слябів масою до 16 т і плит товщиною 51...200 мм, шириною 2000...3200 мм і довжиною до 12 м із зливків масою до 37 т. Річна продуктивність стану – близько 1,75 млн. тонн.

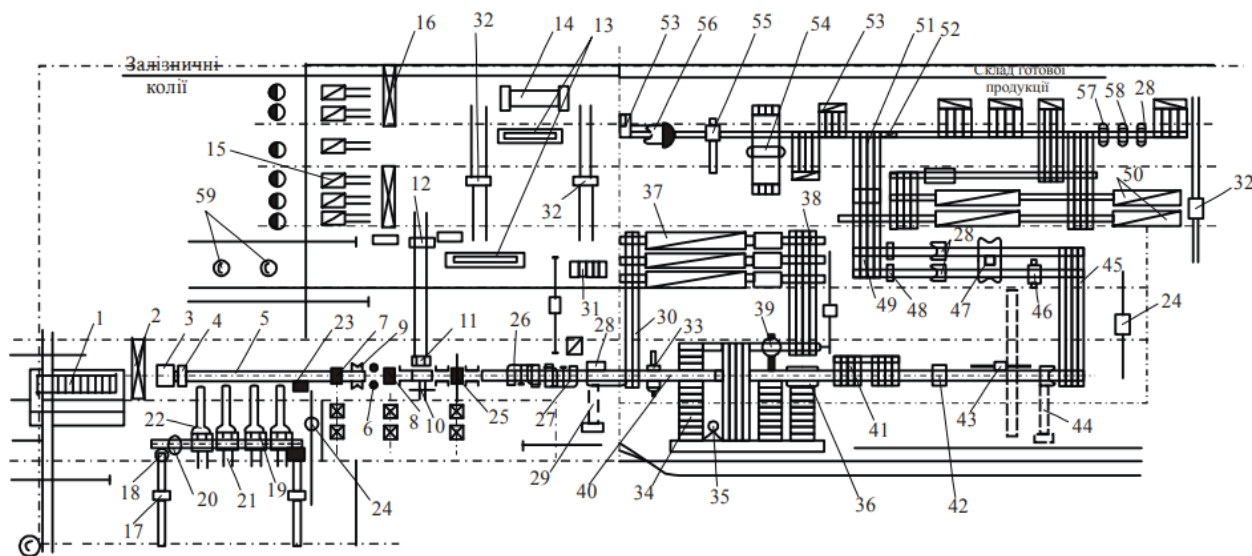


Рисунок 6.18 – План розміщення устаткування товстолистового двоклітьового стана 3600: устаткування для прокатки плит товщиною 51-200 мм: 1 - нагрівальні колодязі; 2 - кліщовий колодязний кран 50 т; 3 - стаціонарний перекидач зливків; 4- поворотний пристрій з вагами; 5- рольганг; 6 - двовалкова кліть з вертикальними валками; 7 - двовалкова кліть; 8 - чорнова реверсивна чотиривалкова кліть 1130/1800x3600; 9 - лінійки маніпуляторів; 10 - штовхач плит; 11 - підйомноопускний стіл; 12 - передавальний візок; 13 - стенд вогневого різання; 14 - стенд вогневої зачистки; 15 - камерні печі з висувним подом; 16 - мостові крани; устаткування для прокатки та оброблення листів товщиною 5.. 50 мм; 17 - візок для слябів; 18 - підйомно-опускний стіл для стопи сляби, масою до 64 т; 19 - вантажний рольганг; 20 - ваги; 21 - пічні штовхачі; 22 - методичні печі; 23 - стелаж; 24 - візок; 25 - чистова реверсивна чотиривалкова кліть 1030/1800x3600; 26 - роликова гартувальна машина; 27 - кантувач листів; 28 - ножиці поперечного різання; 29 - транспортер обрізків 30 - передавальний шлепер; 31 - карман; 32 - передавальний візок; 33 - одинадцятироликова правильна машина /РПМ №1/; 34 - холодильник з дисковими роликами; 35 - семироликова правильна машина /РПМ 2/; 36 - охолоджувальний пристрій листів, 37 - роликові печі для нормалізації листів; 38 - зворотний шлепер; 39 - роликова правильна машина /РПМ №3/; 40 - рольганг; 41 - інспекційний стелаж №1; 42 - ультразвуковий дефектоскоп; 43 - розмічальна машина; 44 - транспортер передачі проб для механічних і технологічних випробувань; 45 - інспекційний шлеперний стелаж; 46- дискові ножиці для обрізання бокових кромки; 47- кромкообрізувальні ножиці барабанного типу; 48 - клеймувальні й маркірувальні пристрої; 49 - передавальний шлепер; 50 - печі для термічної обробки листів; 51 - шлепери і кантувачем; 52 - рольганг-ваги; 53 - кармани для листів; 54 - стелаж вогневої зачистки; 55 - роликова правильна машина № 4; 56 - ножиці; 57 - роликотправильна машина № 5 для листів товщиною 5...20 мм; 58 - роликотправильна машина № 6 для листів 20-50 мм; 59 - димові труби



Зливки для прокатування плит після нагрівання виймають з колодязів 1 кліщовим краном 2, встановлюють у стаціонарний перекидач 3, який плавно опускає їх на приймальний рольганг 5 головною частиною вперед. За допомогою поворотного пристрою 4 зливки зважують і повертають донною частиною вперед для подальшої подачі їх до двовалкової кліті з вертикальними валками 6, яка усуває конусність бокових граней зливка і руйнує шар окалини, яка потім виводиться з поверхні зливка гідрозбиванням. Двовалкова кліть має індивідуальні приводи вертикальних валків від електродвигунів потужністю 1800 кВт з частотою обертання 0...60...120 об/хв кожний, які забезпечують швидкість прокатки в цій кліті до 3,5 м/с.

У чорній чотиривалковій кліті 8 з індивідуальними приводами кожного робочого валка від електродвигунів потужність 6920 кВт кожний і частотою обертання 0...40...80 об/хв спочатку знімається конусність широких граней зливка.

Після повороту сляба довжиною 3000...3400 мм за допомогою рольганга з конічними роликками на кут  $90^\circ$  у горизонтальній площині його прокатують поперек поздовжньої осі для збільшення розміру за шириною та одержання потрібної ширини товстої плити. Розширений сляб знову повертають на  $90^\circ$ , центрують лінійками маніпулятора 9 й прокатують до заданого розміру по висоті. Товсті плити за допомогою зіштовхувача 10 укладають у пакет на підйомноопускному столі 11, далі передавальним візком 12 направляють на ділянку вогневого різання 13 і зачистки поверхні 14.

У разі потреби плити проходять термообробку в камерних печах з висувним подом 15.

Листи товщиною 5...50 мм прокатують з плит з розмірами по висоті 20...75 мм, які одержані в чорновій чотиривалковій кліті за раніше розглянутою схемою прокатки. Плити товщиною 20...75 мм подають до чистової кліті кварто 25, яка має приводи робочих валків від індивідуальних електродвигунів потужністю по 8800 кВт з частотою обертання 0...40...140 об/хв. У чистовій кліті за кілька проходів лист розкатують до заданої товщини (5...50 мм) зі швидкістю до 6 м/с при температурі 830...1060°C. Після розкроювання на ножицях поперечного різання 28:



- листи з коробленою поверхнею виправляють у гарячому стані при температурі близько 500 °С на одинадцятивалковій правильній машині 33 й далі рольгангом направляють для подальшої обробки і оброблення;

- листи товщиною 21...50 мм частково охолоджують у першій секції дискового холодильника 34, виправляють на семироликовій роликотправильній машині 35, охолоджують у другій і третій секціях холодильника до температури 100...200 °С і далі остаточно охолодіють водою до температури 50...100 °С в охолоджувальному пристрої 36.

- листи товщиною 5...20 мм передають у роликові печі 37, після нормалізації направляють до РПМ №3 (39) і по закінченню виправлення охолоджують у другій, третій і четвертій секціях холодильника і видають на рольганг стана 40;


- листи після гартування на роликовій гартувальній машині передавальним шлепером скидають у кармани, звідки візком направляють у прольот обробки.

У перших трьох випадках листи рольгангом стана направляють на інспекторський стелаж № 1 (41), виконують ультразвукову дефектоскопію 43, відбирають проби, зачищають дефекти і передають на дві лінії розкрюювання для листів товщиною 5...20 мм і 21 ...50 мм.

У разі потреби листи подають на допоміжну термообробку. Після закінчення оброблення листи зважують і упаковують в пакети.

З початку 60-х років інтенсивно розвивається виробництво листового прокату на напівбезперервних (НШС) і безперервних широкоштабових станах (БШС) гарячої прокатки рулонним способом. Зараз понад 70% штабової сталі прокатують на широкоштабових станах, що пояснюється високими техніко-економічними показниками роботи цих станів порівняно зі станами інших типів, які випускають аналогічну продукцію. Листова рулонна сталь, яку виготовляють на широкоштабових станах на 7 - 10% дешевша від сталі, прокатої на товстолистових станах. Якість поверхні листової рулонної сталі й точність її розмірів значно вищі від сталі, прокатої на товстолистових станах.

Загальна схема технологічного процесу виробництва штабової сталі в рулонах на широкоштабових станах включає: підготовку слябів до нагріву, тобто огляд і усунення з поверхні виявлених дефектів; нагрівання слябів у методичних печах з крокуючим подом, з торцевою посадкою і



висадкою; прокатування слябів у клітках широкоштабового стана; охолодження, змотування та оброблення прокатної сталі.

Якщо порівнювати безперервні й напівбезперервні широкоштабові стани гарячої прокатки, то стає очевидним, що найбільшого поширення набули безперервні стани завдяки ефективнішому використанню їх устаткування.

Сучасні безперервні широкоштабові стани складаються з двох груп робочих клітей: чорнової й чистової, які послідовно розміщені одна за одною (рис. 6.19). У складі чорнової групи цих станів є вертикальна кліть, чорновий горизонтальний окалиноламах дуо і 3 - 5 універсальних клітей кварто. Усі кліті цієї групи мають послідовне розміщення. У деяких станах для розширення заготовки та обтиску її кромки, що потрібно при прокатуванні штаб шириною понад 2000 мм, у лінію чорнової групи встановлюють розширювальну кліть. Для скорочення протяжності лінії чорнової групи іноді замість універсальних клітей кварто встановлюють 1 - 2 реверсивні кліті або останні 2 - 3 кліті кварто об'єднують у безперервну групу.

За чорною групою клітей на відстані 60...80 м розміщують безперервну чистову групу клітей, яка включає чистовий окалиноламах і 6 - 8 робочих клітей кварто. Перед чистовою групою, а іноді і після неї, встановлюють летучі ножиці. У кінці стана розміщують моталки. Продуктивність цих станів 6 - 7 млн. тон за рік.

Напівбезперервні широкоштабові стани, як і безперервні, призначені для прокатування штаб і листів. На цих станах методом гарячої прокатки виготовляють листи товщиною від 2 до 40 мм і шириною до 3200 мм. Напівбезперервні широкоштабові, на відміну від безперервних, у складі чорнової групи мають вертикальний окалиноламах, реверсивні дво- і чотиривалкові кліті. До чистової групи входить 5 - 7 клітей кварто. Перед чистовою групою встановлюють летучі ножиці та окалиноламах. Готову сталь змотують у рулони (рис. 6.20).

На напівбезперервних широкоштабових станах можна порівняно з безперервними виробляти листову сталь ширшого сортаменту. Однак ці стани мають малу продуктивність і низьку якість поверхні листів.

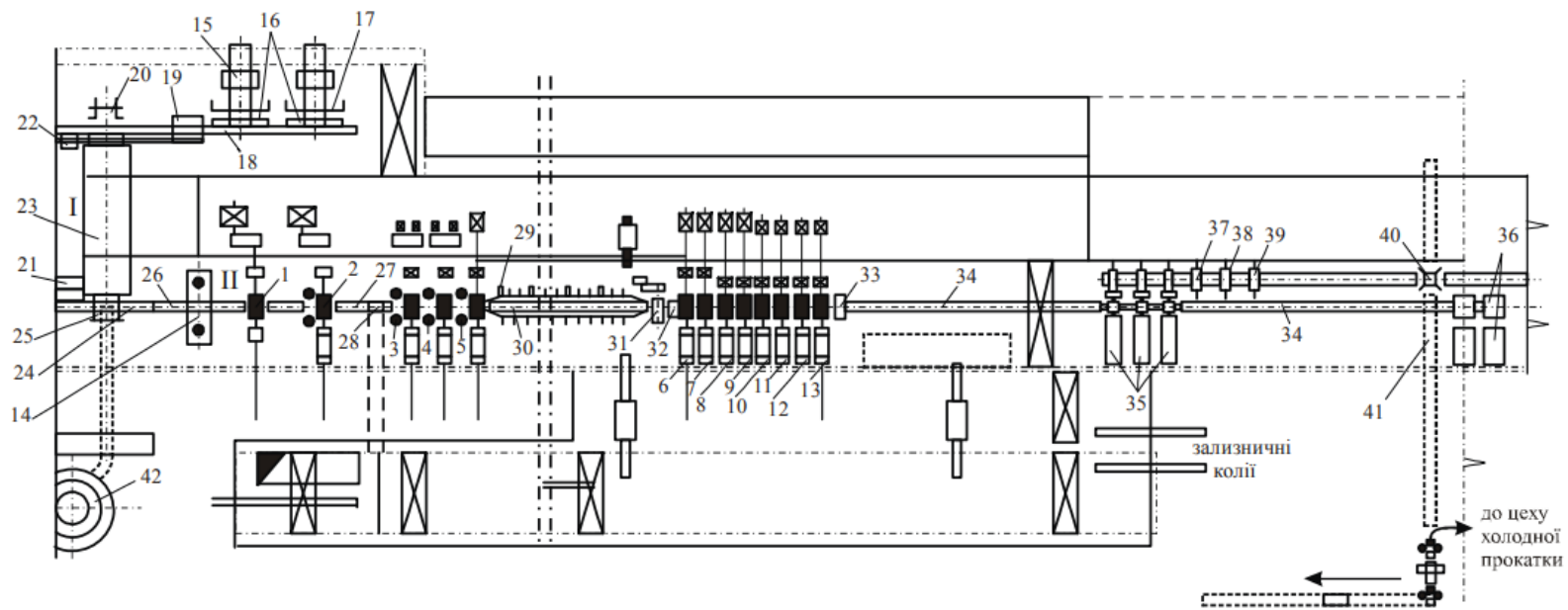


Рисунок 6.19 – План розміщення устаткування безперервного широкоштабового стана 2000: I - проліт нагрівальних печей; II - проліт стана; 1 - чорнова двовалкова кліть; 2 - чорнова чотиривалкова універсальна кліть; 3-5 - безперервна чорнова група з трьох універсальних клітей; 6-13 безперервна чистова група з восьми чотиривалкових клітей; 14-чорновий окалиновідламувач з вертикальними валками; 15 - візок для стопи слябів; 16 - підйомний стіл; 17 - штовхач слябів з підйомного столу; 18 - вантажний рольганг; 19 - ваги; 20 - здвоєний пічний штовхач слябів; 21 - візок для звороту слябів; 22 - штовхач слябів; 23 - нагрівальні печі з крокуючими балками; 24 - рольганг пічний; 25 - приймач слябів із печі; 26 - рольганг перед вертикальною кліттю; 27,30 - проміжні рольганги; 28 - напямині лінійки; 29 - скидач недокату; 31 - летучі барабанні ножиці для обрізання кінців штаби; 32 - чистовий роликівий окалиновідламувач; 33 - вимірник ширини і товщини штаби; 34 - відвідний рольганг з душ-встановкою; 35 - моталки для змотування штаби товщиною до 6 мм; 36 - моталки для штаби товщиною 8...20 мм; 37 - машина для обрізання рулонів; 38 - ваги; 39 - машина для маркірування рулонів; 40 - поворотний стіл для рулонів; 41 - підземний транспортер гарячих рулонів; 42 - димова труба

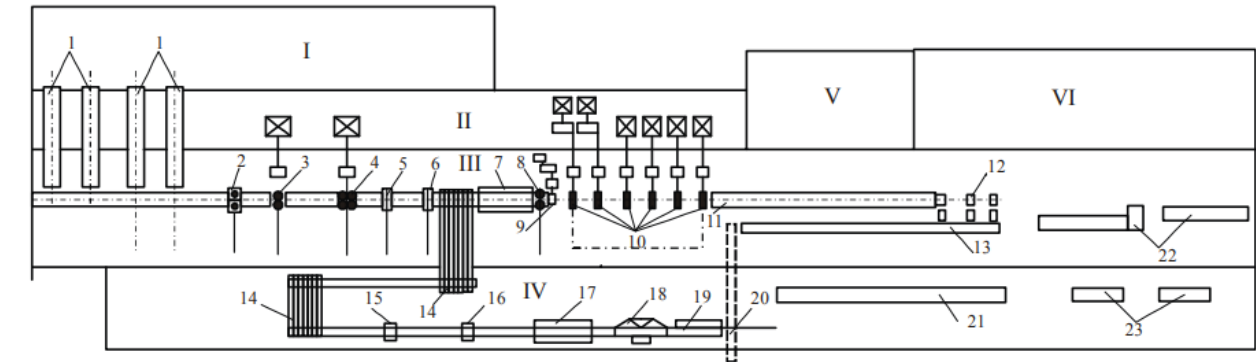


Рисунок 6.20 – План розміщення устаткування комбінованого напівбезперервного широкоштабового стана 2300/1700: I – склад слябів; II – проліт стана; III – проліт обробки товстолистого прокату; IV – склад готової продукції; V – майстерня; 1 – нагрівальні печі; 2 – вертикальний окалиновідламувач; 3 – чорнова розширювальна кліть дуо 1100 x 2300 мм; 4 - універсальна кліть кварто 750/1400 x 2300 мм; 5 - ножиці гарячого різання; 6 - пересувна роликів правильна машина; 7 – підігрівальна роликів піч; 8 – летучі ножиці для обрізання кінців штаби; 9 – чистовий окалиновідламувач дуо; 10 – чистові кліті кварто 700/1400x1700 мм безперервної групи; 11 – відповідний рольганг; 12 – моталки; 13 – транспортер рулонів від моталок; 14 – транспортери-холодильники товстих листів; 15 – дискові ножиці з кромко подрібнювачем; 16 – ножиці поперечного різання; 17 – листоукладач; 18 – гільйотинні ножиці; 19 – стелаж; 20 – агрегат термообробки листів; 21 – травильні машини; 22 – агрегати різання; 23 – підземний транспортер гарячих рулонів

Напівбезперервні стани умовно поділяються на дві групи: звичайні й комбіновані. У звичайних напівбезперервних станах чорнова група складається з кліті з вертикальними валками й реверсивної кліті з горизонтальними валками. Весь метал, прокатаний у чорновій групі, направляється в чистову групу. У комбінованих напівбезперервних широкоштабових станах чорнова група фактично є товстолистим станом. Після прокатування в цій групі метал направляється в чистову групу клітей для одержання тоншого розкату або йде на оброблення й термічну обробку.

Одним із варіантів компактного напівбезперервного стана запропоновано фірмою “Blan-Knax Foundry and mill Machinery” (США) є

технологічна лінія зі зломом лінії прокатки під кутом  $180^\circ$ . Такі стани ще називають зворотньо-напівбезперервними (рис. 6.21).

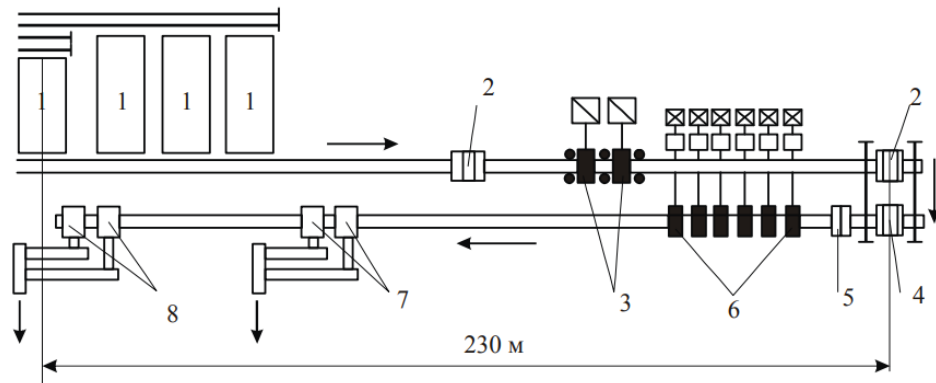


Рисунок 6.21 – Схема зворотньо-напівбезперервного широкоштабового стану: 1 – нагрівальні печі; 2 – промічні перемотувальні пристрої; 3 – універсальні чорнові реверсивні кліти кварто; 4 – розмотувач; 5 – летючі ножиці; 6 – кліти кварто чистової групи; 7,8 – відповідно близькі і далекі моталки

Чорнові та чистові групи клітей розташовані на паралельних лініях. Напрямок прокатки в чистовій групі спрямовується протилежно відносно руху розкату в чорновій групі. Процес прокатки в близько розташованих одна до одної чорнових клітях реверсивній і безперервній - одночасній в обох клітях. Така компактна реверсивна чорнова група із двох клітей дозволяє деформувати розкат з необхідною кількістю проходів. Число проходів обмежується тільки нормованою температурою закінчення чорнової прокатки. Тепло в металі акумулюється за рахунок використання змотувача та розмотувача проміжного розкату. Довжина технологічної лінії стану складає всього 230 м, що вдвічі менше за довжину класичних напівбезперервних станів. Стан прокатує штаби товщиною 1,0 – 19,0 мм до широт 1060 – 1525 мм із слябів товщиною 200 – 250 мм. В чорновій групі виконується 5 – 7 проходів, тобто дві кліти замінюють групу із 5 – 7 клітей. Штаби товщиною 12,0 – 19,0 мм прокатують тільки в чорновій групі. Швидкість прокатки в останній чистовій кліті 11,5 м/с. Готові штаби змотують у рулон моталками.



## 6.16 Стани холодної прокатки

Стан холодної прокатки — це різновид прокатного обладнання, призначений для виготовлення листового металу. У процесі роботи металевий лист пропускається між двома валками, які, обертаючись, стискають і деформують метал, надаючи йому необхідних розмірів і властивостей. Такі стани (рис. 6.22) використовуються для виробництва листів із нержавіючої сталі, оцинкованого металу, кольорових сталей та алюмінію. Вони відзначаються високою точністю, якісною обробкою поверхні та рівномірною товщиною, що робить їх важливою складовою сучасного промислового виробництва.

Робота стану холодної прокатки поділяється на три основні етапи: подачу матеріалу, регулювання тиску та вивантаження готового виробу. На першому етапі металевий лист розміщується на подаючих роликах, які забезпечують його рівномірне проходження між валками.

Далі встановлюється необхідний тиск між валками згідно з виробничими параметрами. Система керування тиском налаштовує силу стиснення залежно від твердості матеріалу, що дозволяє отримати оптимальний результат прокатки.

На завершальному етапі готовий листовий метал виводиться зі стану за допомогою розвантажувальних роликів. Швидкість і напрямок подачі регулюються відповідно до технологічних вимог, щоб забезпечити стабільну товщину та відповідність продукції заданим технічним характеристикам.

Поширені види станів холодної прокатки:

1. Стан холодної прокатки двовалковий. Двовалковий стан холодної прокатки є основним станом холодної прокатки з високою ефективністю виробництва та низькою вартістю. Обладнання в основному складається з двох вальців, які можуть швидко переробляти сировину у виробі необхідного розміру. Обладнання підходить для виробництва та обробки холоднокатаної дошки, холоднокатаного листа, електролітичної жерсті, цинкового листа тощо.

2. Чотиривисокий стан холодної прокатки. Чотирьохвалковий стан холодної прокатки вдосконалений на основі двовалкового стану холодної прокатки, має вищу якість обробки та широке застосування. Чотирьохвисокий стан холодної прокатки складається з двох валків і двох

опорних валків, що дозволяє більш тонку обробку металевих матеріалів. Через більш високу технічну складність і собівартість виробництва стани холодної прокатки чотирьох станів широко застосовуються в галузі точної обробки металів.

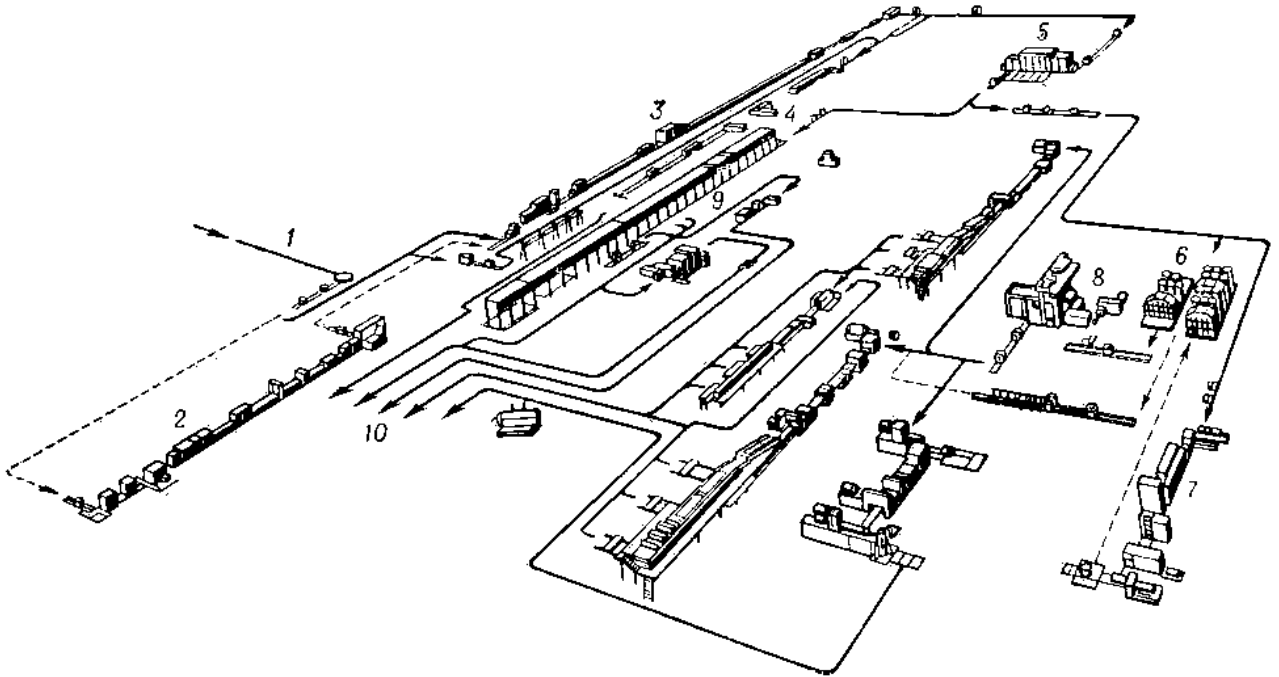


Рисунок 6.22 – Технологічна схема цеху холодної прокатки для виробництва листів: 1 - конвеєр гарячекатаних рулонів; 2 - агрегат нормалізації; 3 - безперервно-травильний агрегат; 4 - агрегат комбінованого різання; 5 - безперервний стан холодної прокатки; 6 - термічне відділення; 7 - агрегат нанесення захисного покриття; 8 - дресирувальний стан; 9 - безперервно-цинкувальний агрегат; 10 - відділення упаковки готових продуктів.

3. Шестиступінчастий стан холодної прокатки. Стан холодної прокатки з шістьма висотами розроблений на основі стану холодної прокатки з чотирма висотами, і він додає два вказівні валки. Стан холодної прокатки з шістьма висотами використовує структуру складених валків, що складається з робочих валків, резервних валків і навідних валків, що має вищу точність і ефективність обробки. Зазвичай підходить для точної обробки тонкого листового матеріалу.



4. Стан суперхолодної прокатки з більш ніж 20 валками Стан суперхолодної прокатки в основному використовується для виробництва високоточних і високоякісних тонколистових матеріалів. У стані суперхолодної прокатки використовується багатоз'єднана структура робочих валків із доданим у середину обладнанням для різання та намотування, що дозволяє виготовляти високоточні тонколистові матеріали, такі як листи з нержавіючої сталі, за короткий проміжок часу.

### **6.17 Сортові стани**


Сортова сталь є найпоширенішим видом прокату. Її використовують для виготовлення різних деталей машин, верстатів, сталевих та залізобетонних конструкцій. Частина сортової сталі є готова продукція, а частина уявляє собою напівфабрикат, який в подальшому піддається переробці: куванню, штампуванню, волочінню, обробці різанням.

В залежності від призначення сортової сталь поділяють на профілі загального призначення, що мають просту геометричну форму, та фасонні профілі загального, галузевого та спеціального призначення.

В залежності від розмірів сортової сталь умовно поділяють на дрібносортову, середньосортову та крупносортову. Відповідно сортові стани поділяють на дрібносортові з валками, які мають діаметр 250-350 мм. Використовуються для прокатування дрібних виробів з діаметром до 30 мм. Середньосортові стани, у яких діаметр валків дорівнюється 350-500 мм, використовуються для прокатування середньосортових простих та фасонних профілів. Крупносортові стани, з діаметром валків 500-750 мм використовуються для прокатування крупносортових профілів загального призначення та важких фасонних профілів.

До сортових станів також відносяться дротові стани з валками діаметром 150-280 мм, що використовуються для прокатування дроту (катанки) діаметром від 5,5 мм до 9,0 мм, смугові стани для прокатування смугової сталі.

Крупносортові стани 500-650 (рис. 6.23) призначені для виготовлення з блюмів широкого асортименту крупного сортового прокату. Крупносортові стани мають, лінійне розміщення клітей (рейкобалкові стани) або зигзагоподібне (характерне для станів 500 і 530). Розвиток сортових станів йде по шляху реалізації безперервності процесу прокатування, збільшення



швидкості прокатки й продуктивності станів, підвищення жорсткості клітей, комплексної автоматизації всього технологічного процесу. Продуктивність крупносортних станів коливається від 0,5 до 1,6 млн. т/рік готового прокату.

При організації виробництва широкополичних балок малого розміру гарним прикладом може служити крупносортний стан 650.

У стана п'ять робочих клітей, він має швидкість виходу з останньої кліті 10 м/с. Стан призначений для прокатки різних крупних профілів – двотаврових балок і швелерів №10–30, кутових профілів №9-20, рейок вузької колії 8-24 кг/м, круглих профілів діаметром 50-150 мм, смугових профілів 8-20×130-200 мм та ін. Але головною продукцією, що прокатується на стані, є широкополичні балки з паралельними полками середньої ширини.

Основним напрямком розвитку середньосортових станів є створення напівбезперервних станів. Крім того ще експлуатуються середньосортові стани старого планування з лінійним, шаховим і зигзагоподібними розміщеннями робочих клітей.

Як вихідний матеріал для прокатування на середньосортових станах використовують катану або литу заготовку перерізом 100×100÷250×250 мм довжиною від 4 до 12 м і масою 2-6 т.

На середньосортних станах виготовляють фасонні та полегшені будівельні профілі, серед яких кутова сталь розміром до 150 мм, тонкостінні швелери й двотаврові балки високою до 300 мм, кругла, квадратна і шестигранна сталь розміром у перерізі 75 мм і штаба шириною до 200 мм.

Середньосортові стани можуть мати різні сполучення типів клітей. Так, існують стани, складені з горизонтальних і вертикальних двовалкових клітей. Універсальних або комбінованих клітей, установлених у дві групи – чорнову й чистову.

Склад клітей чорнової групи визначається сортаментом стана, продуктивністю, можливістю використання вихідних заготовок різних перерізів. Якщо стан має невелику продуктивність і малі відхилення від середніх розмірів перерізів вихідної заготовки, то в чорновій групі такого стана звичайно встановлюється одна реверсивна кліть, в якій прокатування здійснюють за 5-7 проходів.

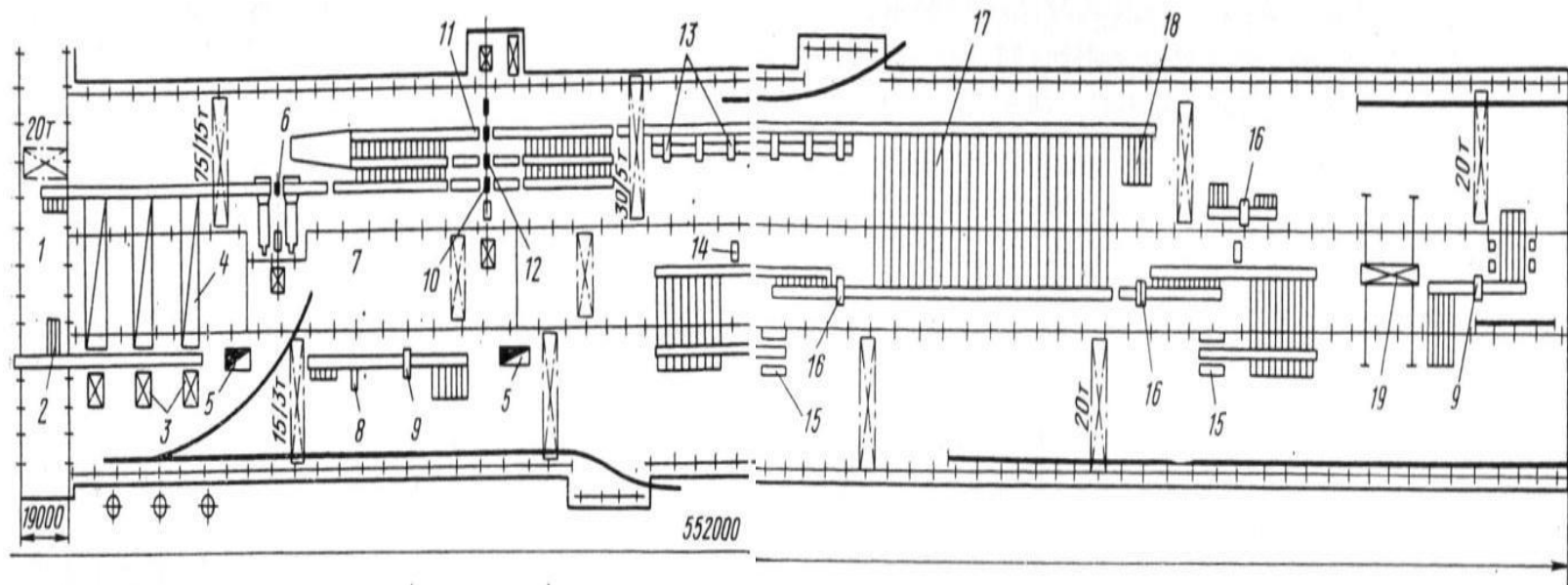


Рисунок 6.23 – Схема розташування обладнання крупносортового стану 650: 1 – склад блюмів; 2 – завантажувальні решітки; 3 – товкачі; 4 – нагрівні печі; 5 – колодязь для окалини; 6 – чорнова двовалкова реверсивна кліть 800; 7 – електромашинна зала; 8, 14 – дискові пили холодної різки; 9 – правильний прес; 10, 12 – чорнові тривалкові кліті 650; 11 – чистова двовалкова кліть 650; 13 – дискові пили; 15 – укладчик готового прокату; 16 – правильні машини; 17 – холодильник; 18 – стелаж для якісних заготовок; 19 – передаточний візок



Для станів з більшою продуктивністю в чорновій групі звичайно встановлюють одну реверсивну й одну – три послідовно розміщених неревверсивних клітей. Відстань між клітями вибирають такою, щоб забезпечувався вільний вихід розкату. Перед входом в кожну кліть розміщують кантувачі для повороту розкату навколо поздовжньої осі на  $90^{\circ}$ .

Стани високої продуктивності мають чорнову групу – три блоки по три кліті. Проміжок між блоками перевищує довжину розкату. Найдосконалішими і найпродуктивнішими є стани, в яких чорнова група виконана безперервною з горизонтальними валками, що чергуються з вертикальними.

Чистові неревверсивні групи середньо сортних станів мають від 6 до 12 робочих клітей, з яких комбінованих універсальних може бути 4-10, а комбінованих двовалкових – 2-4.

Стан 450. Вихідним матеріалом для прокату є заготовки перерізом  $150 \times 150 \div 200 \times 200$  мм довжиною  $8 \div 12$  м і масою до 4,7 т, які звичайно надходять від безперервно-заготівельних станів (рис. 6.24). Продуктивність середньосортного стана 450 по готовому прокату становить 1,5 млн. т/рік. Цей стан призначений для прокатування нормальних двотаврових балок і швелерів висотою  $100 \div 180$  мм, тонкостінних двотаврових балок і швелерів з паралельними полицями висотою  $160 \div 300$  мм, круглої сталі діаметром  $32 \div 60$  мм, квадратної сталі зі стороною  $26 \div 56$  мм, штабової сталі з розмірами  $9 \div 20 \times 125 \div 200$  мм. Довжина готового прокату – до 24 м.

Заготовку зі складу в холодному стані або при температурі  $400 \div 500^{\circ}\text{C}$  від безперервного заготівельного стану після зважування на вагах 4 рольгангом подають до печей і далі штовхачем 5 задають у нагрівну піч з крокуючим подом 6. Нагріті до температури  $1160-1180^{\circ}\text{C}$  заготовки пристроєм 7 направляють на приймальний рольганг, який транспортує їх у становий прольот. Тут перед чорною групою 10 установлені: кантувач, ножиці для обрізання з зусиллям 4МН і машина вогневої зачистки.

У чистовій групі 12 передбачені більш широкі можливості застосування різних комбінацій розташування прокатних валків залежно від вимог процесу прокатки того або іншого профілю. Перша, четверта й шоста кліті зроблені комбінованими, а інші чотири кліті – з горизонтально розташованими валками; для них також передбачена можливість додавання вертикальних валків, тобто застосування універсальних клітей.

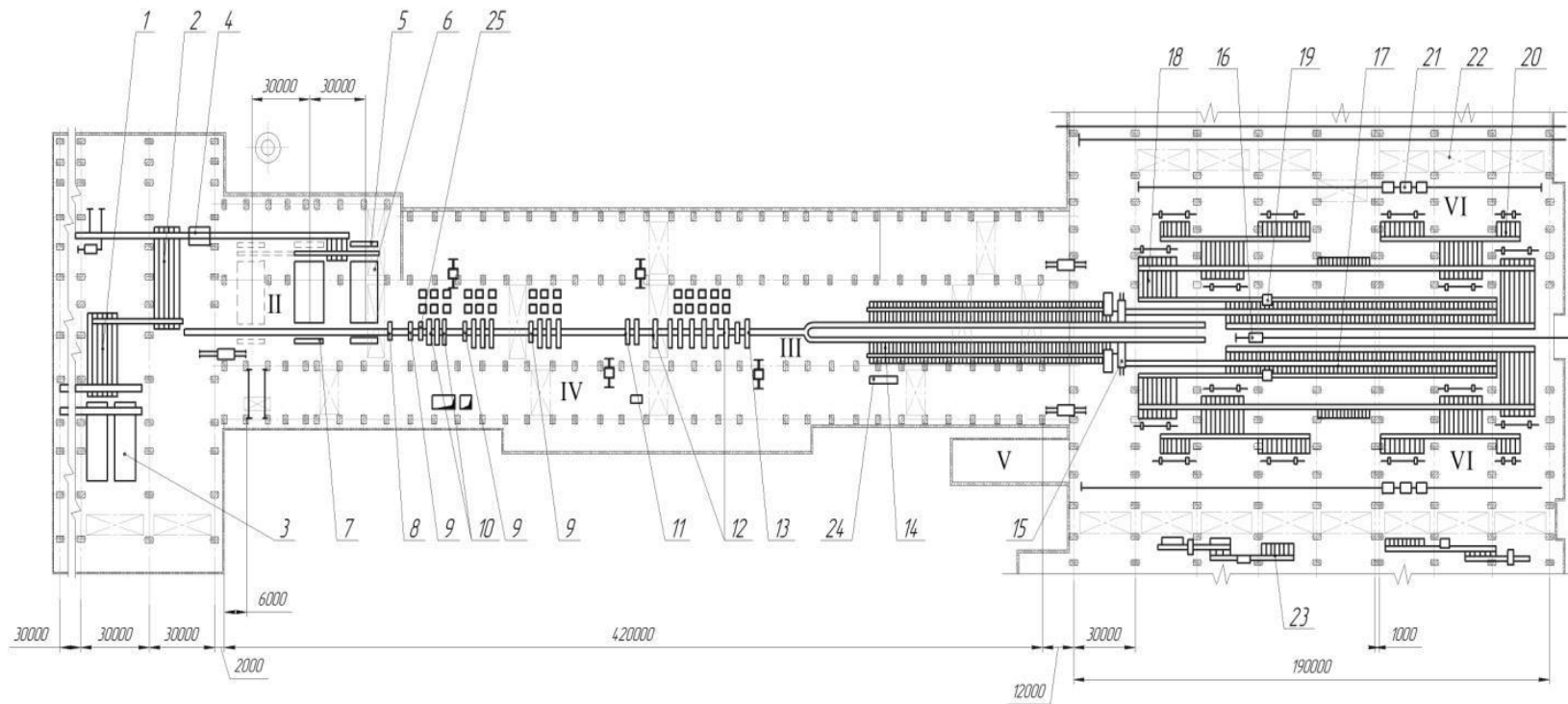


Рисунок 6.24 – План розміщення устаткування безперервного середньосортного стану 450:  
*I* – склад заготовок; *II* – відділення нагрівних печей; *III* – становий прольот; *IV* – скрапний прольот;  
*V* – машинний зал; *VI* – склад готової продукції; 1 – холодильник; 2 – шлепер; 3 – стелаж; 4 – ваги;  
 5 – штовхач; 6 – нагрівальна піч з крокуючим подом; 7 – пристрій для видачі заготовок; 8 – ножиці 4 МН;  
 9 – кантувач; 10 – три чорнові безперервні триклітьові групи; 11 – летючі ножиці 1,3 МН; 12 – чистова  
 група клітей; 13 – летючі ножиці 0,6 МН; 14 – двосторонній холодильник; 15 – кармани крупного сортового  
 прокату; 16 – пересувні правильні машини; 17 – відвідні ролганги; 18 – шлепер; 19 – ножиці з упором;  
 20 – агрегати упаковки; 21 – передавальні візки; 22 – мостовий кран; 23 – агрегати додаткової правки і  
 різання; 24 – насоси для термічного зміцнення прокату; 25 – машина для вогневої зачистки заготовки



Сучасні тенденції виробництва дрібносортового прокату полягають у створенні високопродуктивних безперервних і реконструкції діючих станів, а також в удосконаленні технології одержання дрібносортних профілів. На цих станах виготовляють круглу та арматурну сталь діаметром 8÷40 мм, кутовий профіль і швелери розміром 20÷65 мм, а також штабову сталь шириною 12÷70 мм прокатують із заготовок перерізом від 80x80 мм до 130x130 мм.

Дрібносортові стани 250 (рис. 6.25) мають продуктивність 650 тис. т/рік і призначені для виробництва круглої, шестигранної та квадратної сталі розміром 8÷30 мм, арматурної сталі періодичного профілю 10-28 мм, кутової сталі № 2-4. Заготовка для дрібносортового прокату перерізом 80x80 мм, довжиною до 12 м і масою 600 кг надходить від безперервного стану. Дрібносортовий стан складається з 23 двовалкових робочих клітей, об'єднаних у чорнову, проміжну й дві чистові групи клітей. До складу чорнової групи входять сім горизонтальних клітей дуо (480x800 мм); до складу проміжної групи – чотири кліті дуо (380x400 мм), а дві чистові групи складаються з шести комбінованих і горизонтальних клітей дуо (270x400 мм), що чергуються.

Усі кліті мають індивідуальні приводні двигуни з чотирикратною межею регулювання.

Перед початком прокатки заготовка із завантажувальної решітки 1 подається відповідним рольгангом до нагрівальної печі 4. Посад заготовок у піч виконується штовхаючим пристроєм. Заготовки в печі рухаються штовхачем. Виштовхувач видає заготовку з печі на рольганг, який подає її в лінію стана 10. За печами встановлена стикозварювальна машина, яка зварює заготовки при безперервній прокатці з наступним її підігріванням в індукційній печі. В разі поштучної прокатки заготовки в проміжній печі не підігріваються. Перед першою чорновою кліттю встановлено летючі кривошипно-важільні ножиці правого або лівого виконання для кожної прокатної нитки. Ці ножиці служать для обрізання кінців прокату, а також як аварійні. Між чорновою й проміжною групами клітей встановлено летючі кривошипно-важільні ротаційні ножиці 11, які служать для обрізання на ходу переднього кінця й розрізання штаби на куски в разі аварійних затримок у лінії прокатки. Після виходу з останніх чистових клітей 14 прокат ріжуть на летючих ножицях на мірні частини або направляють на моталки для змотування в бунти.

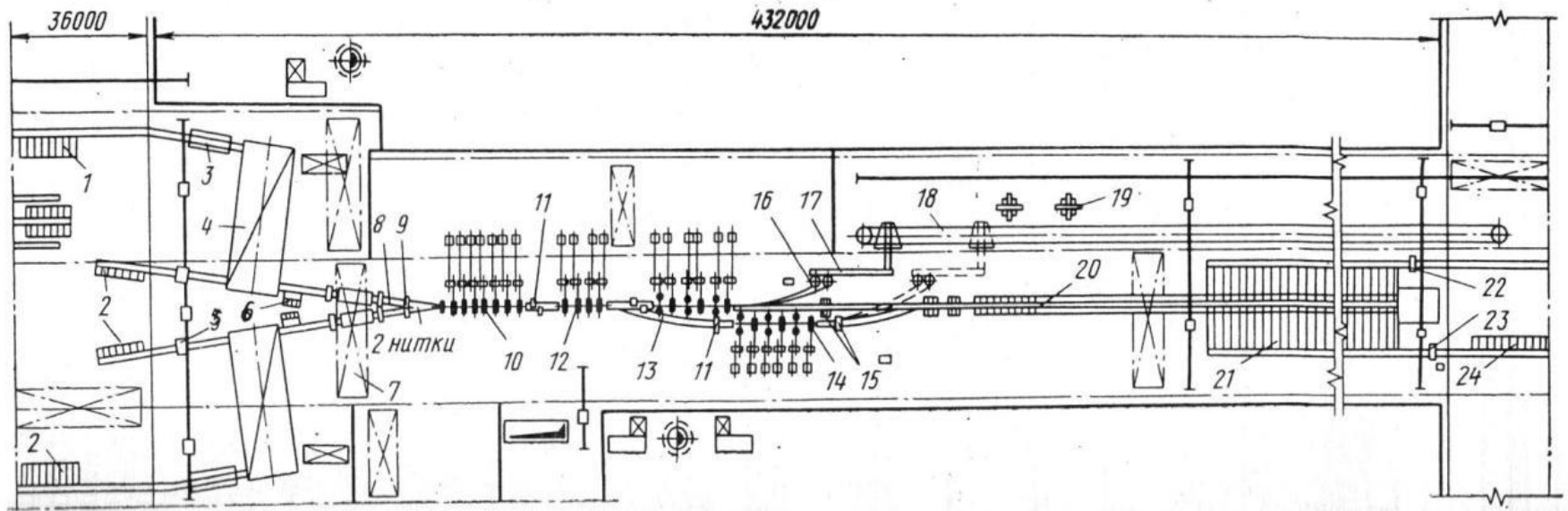


Рисунок 6.25 – План розміщення устаткування безперервного стану 250: 1 – завантажувальні грати; 2 – розвантажувальні грати; 3 – ваги; 4 – нагрівальні печі; 5 – установка вогневого різання звороту; 6 – стикозварювальні машини; 7 – петльові ями; 8 – індукційні печі; 9 – кривошипно-важільні летючі ножиці; 10 – чорнова безперервна група клітей; 11 – летючі аварійні ножиці; 12 – проміжна група клітей; 13 – петльовики; 14 – чистова безперервна група клітей; 15 – летючі ножиці; 16 – моталки для круглої сталі; 17 – транспортери бунтів; 18 – крюкові конвеєри для бунтів; 19 – зйомники і пакетувальники бунтів; 20 – рольганг холодильника; 21 – холодильник; 22 – правильна машина; 23 – ножиці; 24 – збиральні кармани



## 6.18 Дротові стани

Дріт діаметром від 5 до 13 мм прокатують на спеціальних дротових станах лінійного, напівбезперервного й безперервного типу. Основними станами для виробництва дроту є безперервні стани, які поділяються на дво- і чотири ниткові. На цих станах виготовляється дріт (катанка) в бунтах масою до 2 т. Вихідний матеріал – це катані або литі заготовки з розміром поперечного перерізу від 100x100 до 130x130 мм і довжиною від 12 до 15 м. Кількість клітей стана вибирається так, щоб для кожної нитки прокату забезпечувалося 21-27 проходів. Ці стани мають горизонтальні та вертикальні кліті, які забезпечують виробництво прокату без скручування. Кліті безперервних дротових станів об'єднано в чорнову і проміжну групи з прокаткою в кілька ниток, а також чистову групу, де прокатують в одну нитку.

До складу чорнової групи звичайно входять від семи до дев'яти клітей дуо з горизонтальними валками діаметром від 450 до 500 мм. Проміжна група складається з чотирьох клітей з валками діаметром від 300 до 400 мм. Перед чистовими розміщують групи клітей по дві або чотири горизонтальні або горизонтальні і вертикальні, що чергуються з валками діаметром 240÷320 мм.

Чистові групи включають двовалкові горизонтальні й вертикальні кліті, що чергуються, з валками діаметром 150-250 мм. На деяких станах до чистових груп клітей входять блоки тривалкових клітей, осі валків яких розміщені під кутом 120°, або блоки двовалкових клітей. Осі валків яких розміщені під кутом 45° до горизонталі, а вісь кожної наступної кліті під кутом 90° до осі попередньої кліті. Така конструкція клітей чистової групи дала змогу збільшити швидкість прокатування до 100 м/с.

Безперервний чотиринитковий дротовий стан має продуктивність 600 тис. т/рік, призначається для прокатування катанки діаметром 6-10 мм із заготовок розміром у поперечному перерізі 80x80 мм довжиною 12 м і масою 600 кг, які надходять від заготовочних станів.

Заготовки перед поштучною прокаткою нагрівають до температури 1150° С у нагрівальних печах з крокуючим подом, а при нескінченій прокатці додаткове нагрівання виконується в індукційній печі.

До складу стана (рис. 6.26) входять 37 двовалкових клітей, об'єднаних у безперервну чорнову групу, яка включає дев'ять клітей, з яких сім клітей

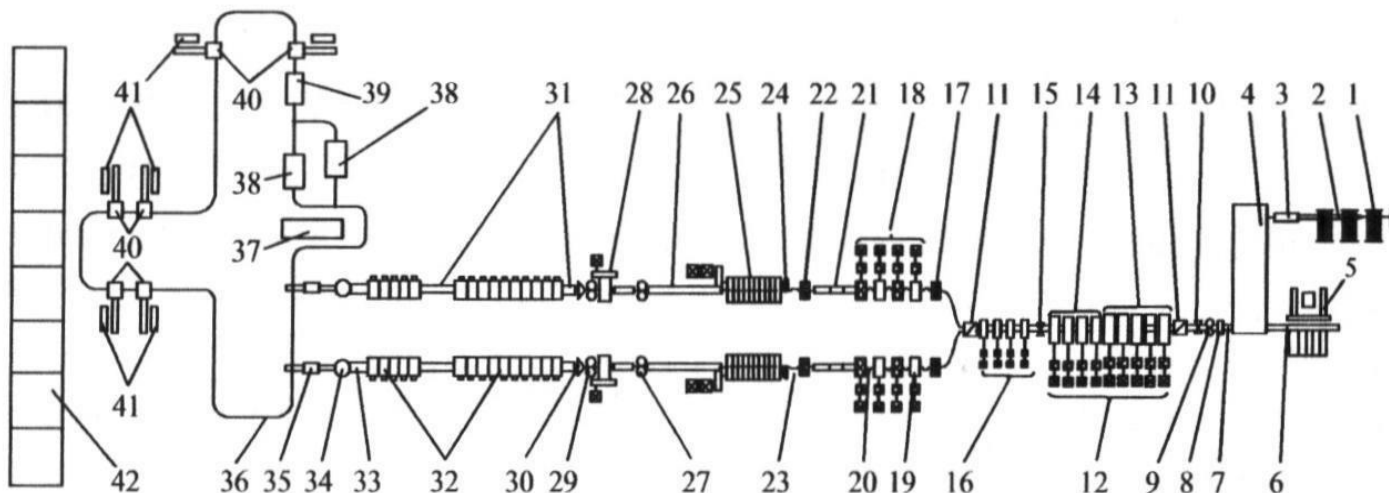



Рисунок 6.26 – План розміщення устаткування безперервного дрібносортового стана 150:  
 1 – завантажувальний пристрій; 2 – завантажувальний рольганг; 3 – рольгангові ваги; 4 – піч для нагріву заготовок;  
 5 – виштовхувач; 6 – відводячий рольганг з решіткою для заготовок; 7 – підводячий рольганг; 8 – пристрій для гідрозбиву  
 окалини; 9 – трайбапарат; 10 – двониткові розривні ножиці; 11 – стрілка; 12 – чорнова група клітей; 13 – кліті дуо 560;  
 14 – кліті дуо 500; 15 – кривошипно-ричажні ножиці; 16 – 1-а проміжна група (кліті дуо 360); 17 – скрапні ножиці;  
 18 – 2-а проміжна група клітей; 19 – консольні кліті дуо 250; 20 – вертикальний петлерегулятор; 21 – підводяча проводка  
 з пристроєм для охолодження раскату; 22 – триструмові універсальні ножиці; 23 – горизонтальний петлерегулятор;  
 24 – обривні ножиці; 25 – 10-ти клітьовий чистовий блок 170/150; 26 – лінія водяного охолодження прокату;  
 27 – трайбапарат №1; 28 – 2-х клітьовий низькотемпературний блок 190; 29 – трайбапарат; 30 – виткоукладчик;  
 31 – роликовий транспортер; 32 – вентиляторна система охолодження раскату; 33 – рольганг прибирання витків;  
 34 – пристрій для збору витків у мотки; 35 – завантажувальний візок; 36 – крюковий конвеєр; 37 – інспекційна ділянка;  
 38 – пристрій для підпресовки та ув'язки мотків; 39 – ваги; 40 – розвантажувальний візок; 41 – пристрій для накопичення  
 і пакетування мотків; 42 – склад готової продукції



480 і дві кліті 370; у першу проміжну групу з чотирма клітями 320; у дві паралельні другі проміжні групи по чотири кліті 320 у кожній і чотири паралельні чистові групи з чотирма клітями 250, з яких дві горизонтальні й дві вертикальні. У чорновій і першій проміжній групах прокатують у чотири нитки, у другій проміжній – у дві, а в чистовій – в одну нитку зі швидкістю до 40 м/с.

Перед чорною групою клітей і за нею встановлено летючі ножиці, які призначені для обрізання переднього кінця й різання розкату при аварії. За кожною чистовою групою встановлено по дві моталки з нерухомим барабаном, на яких катанку змотують у бунти, які ланцюговим транспортером передають на гаковий конвеєр для охолодження. Після охолодження бунти знімають з конвеєра спеціальною машиною, ув'язують, пакетують та відправляють на склад

### **6.19 Смугові стани**

Для прокатування смуги використовують підкати квадратного та прямокутного перерізу, які отримуються в чорновій групі клітей. Смугу прямокутного перерізу в залежності від ширини смуги можна отримати в чорнових та проміжних групах клітей. Використовують системи калібрів: прямокутник-ящиковий квадрат, гладка бочка-ящиковий квадрат, овал-ребровий овал.

Сучасний спосіб виготовлення прямокутної смуги – це виготовлення її на безперервному стані (рис. 6.27).

Підготовлені для прокатки заготовки, в залежності з замовленням, укладають пратцен-кранами на завантажувальні решітки, звідки за допомогою перекладаючого пристрою по одному передають на підвідний рольганг.

Придатні заготовки транспортують до нагрівальної печі і задають в неї з допомогою втаскуючого пристрою.

Браковані заготовки з підвідного рольгангу спеціальним відштовхувачем видаляють в карман.

Нагрів заготовок відбувається в методичній печі до встановленої температури в залежності від марки сталі.

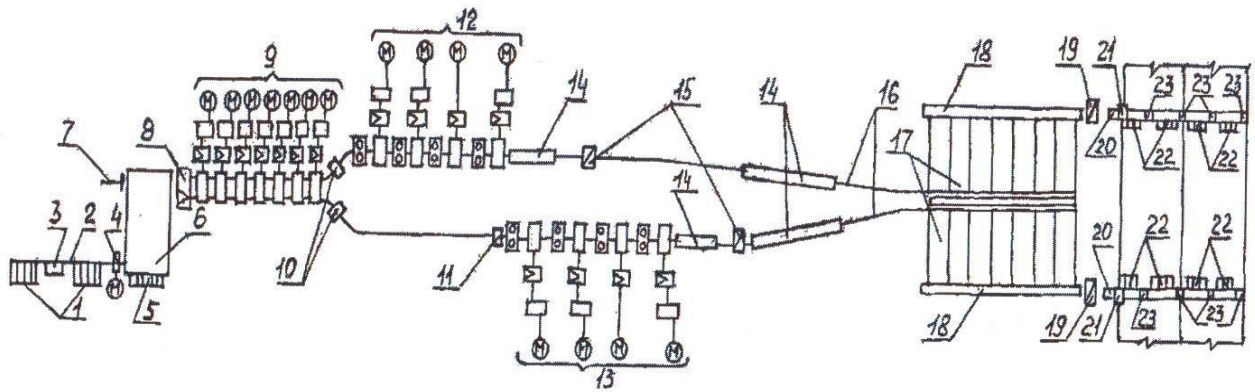


Рисунок 6.27 – Схема розташування устаткування безперервного дрібносортового стану 250-2:1 – завантажувальні грати; 2 – підвідний рольганг; 3 – кишень для забракованих заготовок; 4 – втаскував; 5 – штовхач; 6 – нагрівальна піч; 7 – виштовхувач; 8 – розподільник заготовок; 9 – чорнова група клітей; 10 – аварійні ножиці; 11 – обривний ніж; 12, 13 – ліва та права чистові групи клітей; 14 – лінія прискореного охолодження; 15 – двохбарабанні ножиці; 16 – рольганг; 17 – холодильник; 18 – відвідний рольганг; 19 – ножиці; 20 – прибиральний рольганг; 21 – пересувний упор; 22 – ваги з кишнями; 23 – упори


Переміщення металу в печі відбувається штовхачами. Видача заготовок з печі відбувається з допомогою виштовхувача. Видані з печі заготовки розподіляють на дві нитки з допомогою розподільного столу.

Прокатку на станах проводять в дві нитки на чорновій і в одну нитку на кожній чистовій групі клітей. Число проходів залежить від прокатуемого профілю.

Між чорною і чистою групою прокатки передбачена обрізка переднього кінця розкату довжиною від 50 до 150 мм на летучих ножицях, котрі також можуть проводити розріз розкату на габаритні довжини (в аварійних ситуаціях).

Перед правою чистою групою встановлені обривні ножиці, які автоматично відрізають задній кінець, що застряє в чистових клітях розкату, що зменшує кількість плутанки між клітями.

Після чистових клітей при прокатці всіх профілів розкат ріжуть на летучих двохбарабаних ножицях на довжини, які відповідають вимогам подачі прутків, полоси або штанг на холодильник. Полоси переміщуються



по холодильнику, охолоджуються, потім їх збирають у пакети і подають до ножиць холодного різання для розрізання на мірні і немірні величини.

Готовий прокат, порізаний на довжини, згідно завдання виробничого управління, від ножиць холодного різання металу транспортують рольгангами до приймальних карман-вагам. Пачки прокату зав'язуються ручним або механізованим способом. Готовий прокат зважують і транспортують мостовими крюковими кранами на склади готової продукції.

На складі у випадку необхідності прутки, полоси або штанги проходять холодну правку, порізку, сортування та ремонт.

Пачки готового прокату убирають та укладають в штабелі або грузять в залізничні вагони електромостовими кранами.

Обрізь від аварійних ножиць та ножиць холодної різки збирають в установлені в ямах короба. Після наповнення короба виймають електромостовими кранами та відвантажують в залізничні вагони.

Окалину з під робочої кліті змивають водою в відстійник окалини, що розташований в скрапному прольоті, звідки вилучають електромостовими кранами і завантажують в залізничні вагони. Періодичність відвантаження окалини з відстійників повинна бути не менш одного вагону за два дні.

Валки дрібносортних станів розточують і ремонтують у вальцетокарному цеху. Для зберігання валів поточної потреби встановлені спеціальні стенди.

Всі частини стану зв'язані в єдиний безперервний технологічний комплекс.

## **6.20 Сортоправильні машини**

Основне технологічне завдання процесу правки полягає в усуненні хвилястості та жолоблення металевого прокату. Хвилястість — це вид геометричних відхилень, що займає проміжне місце між відхиленнями форми й шорсткістю поверхні, тоді як жолоблення являє собою хвилястість у двох взаємно перпендикулярних напрямках. Такі дефекти оцінюють за величиною стріли прогину на кожен метр довжини виробу. Хвилястість може негативно впливати на експлуатаційні властивості металу, зокрема призводити до втрати стійкості конструкцій, які працюють під тиском.

Після правки стріла прогину листового прокату, відповідно до вимог взаємозамінності, не повинна перевищувати 1 мм на 1 м довжини.



Правка є різновидом обробки металу тиском, яка полягає у багаторазовому знакозмінному пластичному вигині матеріалу під дією напружень, що перевищують межу текучості. Переважна більшість операцій виконується у холодному стані. Гарячу правку застосовують у разі значних викривлень або коли холодна правка може погіршити пластичність металу.

За принципом роботи обладнання для правки прокату поділяють на три основні групи:

- ротаційні машини (листоправильні багатовалкові та сортоправильні багатороликові);
- преси (гідравлічні, гвинтові, правильно-згинальні);
- розтягувально-правильні машини.

У промисловості також застосовують комбіновані методи правки, що поєднують кілька технологічних прийомів, наприклад:

1. розтягування з нагріванням;
2. нагрівання з подальшим розтягненням і стисненням у різних площинах;
3. розтягування із вигином;
4. стиснення зі зміною напрямку розтягування.

Методом розтягування вирівнюють штаби шириною до 200 мм і листи товщиною до 16 мм, особливо у випадках наявності гвинтоподібних чи серпоподібних деформацій, які важко усунути на роликівих машинах. Контроль якості виправлення здійснюють спеціальним щупом за допомогою лінійки.

Процес правки на багатовалкових листоправильних машинах (рис. 6.28) виконується між двома рядами валків, розташованими у шаховому порядку. Відстань між верхніми та нижніми валками регулюється залежно від товщини листа. Нижній ряд є приводним, а верхній — рухомим, що дозволяє змінювати тиск на метал. Кількість валків становить від 5 до 23. Розрізняють машини з паралельним і непаралельним розміщенням валків — останній варіант забезпечує поступове зменшення кривизни та підвищує якість вирівнювання. Такі установки використовують переважно для тонких матеріалів; правку проводять у 3–5 проходів у прямому та зворотному напрямках (реверсивно).

Робота сортоправильних роликівих машин подібна до процесу на листоправильних багатовалкових установках. Заготовка проходить між



двома рядами роликів, розміщених у шаховому порядку, і багаторазово вигинається, доки не набуде потрібної форми. Відстань між рядами роликів регулюється відповідно до розмірів поперечного перерізу заготовки. Конструкція машин дозволяє замінювати ролики для роботи з різними профілями. Кількість роликів коливається від 7 до 11, причому для тонших матеріалів застосовують більшу їх кількість.

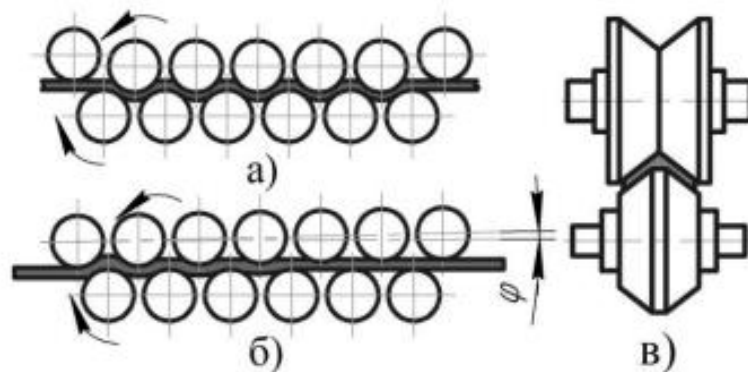


Рисунок 6.28 – Схема роботи багатовалкової листопрямуючої машини: а) паралельне розміщення валків; б) непаралельне розміщення валків; в) форма роликів для виправлення кутового прокату

Крок роликів — це відстань між осями двох сусідніх роликів, розташованих в одному ряду. Його значення зазвичай обирають із стандартного ряду:  $t = 200, 250, 400$  або  $450$  мм. Діаметр ролика визначають за співвідношенням  $D = (0,9-0,95)t$ . Зменшення кроку роликів сприяє підвищенню точності процесу правки.

Зусилля, необхідне для виправлення металу в листопрямуючих машинах, визначають за максимально допустимою силою, що діє на один ролик, а також за загальним зусиллям, прикладеним до нижнього ряду валків.

Не менш важливим параметром є відстань між рядами верхніх і нижніх валків. Якщо вона буде надто великою, процес правки не відбуватиметься належним чином, а при надмірному зменшенні відстані можливе заклинювання механізму машини.



Листопрямильні роликові машини використовуються для вирівнювання металевих листів товщиною до 50 мм і шириною до 5000 мм. Правку тонких листів здійснюють у холодному стані, тоді як товсті листи виправляють у гарячому або напівгарячому стані при температурах 400–800 °С.

Залежно від конструкції та призначення, листопрямильні машини поділяються на такі типи (рис. 6.29):

а – з паралельним розташуванням роликів, призначені для гарячої правки товстих листів товщиною понад 12 мм; б – з похилим розміщенням роликів або з косою верхньою траверсою, застосовуються для правки тонких листів і штаб у холодному стані; в – з індивідуальним регулюванням кожного ролика; г – зі змінним кроком між роликами; д – комбіновані, з поєднанням паралельного та похилого розташування рядів роликів.

Машини типу «а» з паралельними рядами роликів (рис. 6.29, а) використовують для правки листів товщиною 4–50 мм. Вони оснащені 7 або 9 роликами діаметром 180–520 мм. Швидкість процесу становить 0,10–0,25 м/с.

Машини з похилим розміщенням роликів (рис. 6.29, б) призначені для правки тонких листів і штаб товщиною менше 4 мм. Максимальний прогин металу відбувається між першими роликами, а надалі поступово зменшується від 4–5-го до останнього. Висота роликів регулюється вертикальним переміщенням верхньої траверси. Діаметр робочих роликів становить 100–180 мм, крок між ними — 110–120 мм, кількість роликів — 9 або 17, швидкість правки — 0,10–0,60 м/с.

У машинах зі змінним кроком роликів лист проходить між робочими роликами, діаметр яких змінюється вздовж довжини машини (рис. 6.29, в). Відстань між роликами збільшується від центру до країв, що дозволяє досягти більшої пластичної деформації в середній частині та меншої — на вході й виході листа. Такі машини ефективні для правки тонких листів і штаб товщиною 0,5–1 мм. Діаметр роликів — 38–75 мм, кількість — 17, 23 або 29, крок між ними — 40–80 мм, швидкість правки — 0,10–2,0 м/с.

Похилопрямильні машини типу Саттон (США) (рис. 6.29, г) призначені для високоточної правки найтонших листів і стрічок товщиною 0,20–0,25 мм. Робочі ролики в них утворюють три зони з регульованими верхніми траверсами: дві крайні похилі та одну середню паралельну.

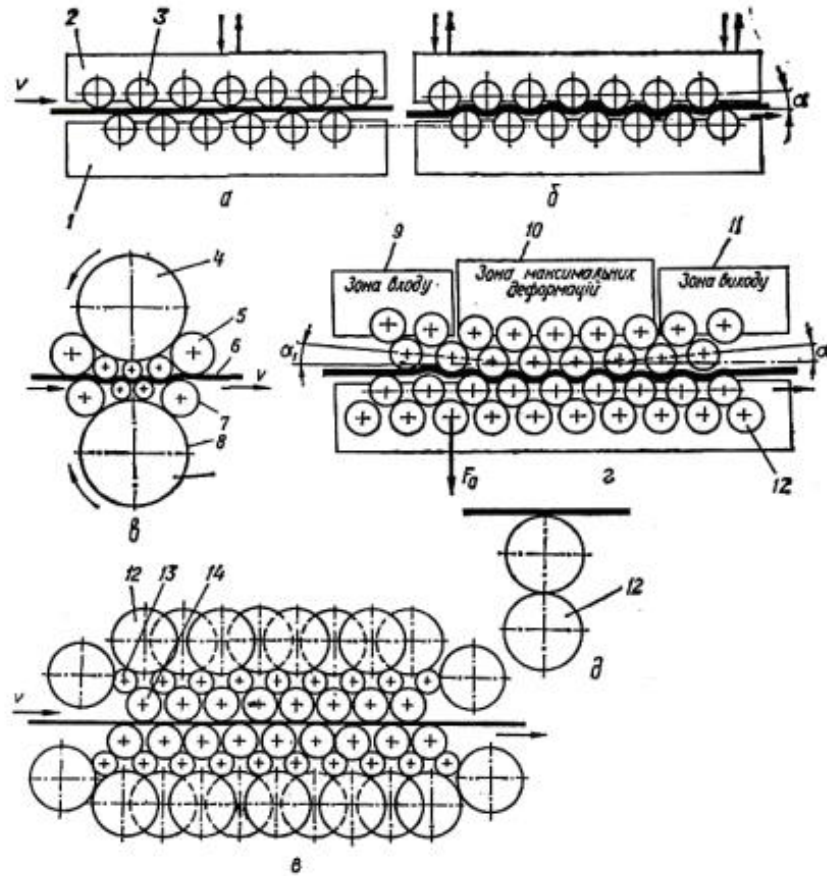


Рисунок 6.29 – Типи листопрокатних машин: а – з паралельними рядами роликів; б – з похилими рядами роликів; в – зі змінним кроком роликів; г – з похило-паралельними рядами роликів; д – машини фірми Бронкс з шестирядними роликами

Для машин гарячої правки застосовують полярне розміщення робочих і опорних роликів (рис. 6.29, д), що запобігає налипанню окалини на поверхню роликів.

Шестирядні правильні машини фірми Bronx (Англія) (рис. 6.29, г) мають підвищену жорсткість роликової системи та забезпечують особливо високу якість вирівнювання металу.

Сортові профілі виправляють на роликових машинах у площині, де жорсткість на згин є мінімальною. Якщо ж необхідно здійснити холодну правку великих несиметричних профілів у площині максимальної жорсткості поперечного перерізу, цю операцію виконують на пресах. Преси також використовують для вибіркового виправлення місцевих викривлень

на кінцях великосортних профілів і фасонних виробів, таких як рейки або балки.

У виробництві рейок спостерігається така особливість: після прокатки підшва рейки охолоджується швидше, ніж головка, де зосереджена більша маса металу. Через це виникає нерівномірність температур по перерізу, що спричиняє згинання профілю. Щоб запобігти цьому, рейки попередньо згинають у напрямку підшви — у процесі охолодження вони самовипрямляються.

Залежно від конструкції, правильні преси поділяються на вертикальні та горизонтальні.

Вертикальні преси (рис. 6.30) встановлені на станині С-подібної форми (1). Привід робочих органів здійснюється електродвигуном (М) через ремінну (3) і зубчасту (2) передачі. До складу робочих органів входять кривошипно-повзунковий механізм (4), штампель (5) і опорні ролики (7), розміщені на столі (9). Профіль (6) подається роликами (8), а при опусканні штампеля він виправляється згином на опорних роликах. Зусилля правки становить 0,2–3,5 МН і визначається залежно від площі поперечного перерізу профілю. Відстань між опорними роликами (подушками) вибирають відповідно до довжини викривленої ділянки профілю. Процес правки виконується за кілька робочих ходів штампеля зі швидкістю до 25 циклів за хвилину.

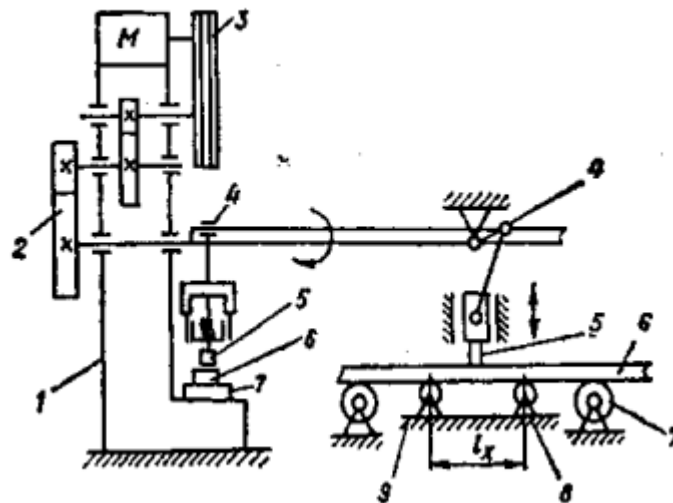


Рисунок 6.30 – Схема вертикального правильного пресу



Горизонтальні преси (рис. 6.31) зазвичай інтегрують у потокові технологічні лінії разом із ролико-правильними машинами. Вони призначені для правки кінців рейок, балок, швелерів, кутників та інших фланцевих профілів одразу після основної правки прокату. У цьому випадку прес виконує функцію доопрацювання кінцевих ділянок виробу, причому виправлення балок і швелерів здійснюється виключно в горизонтальній площині. Схематичне зображення горизонтального преса наведено на рисунку.

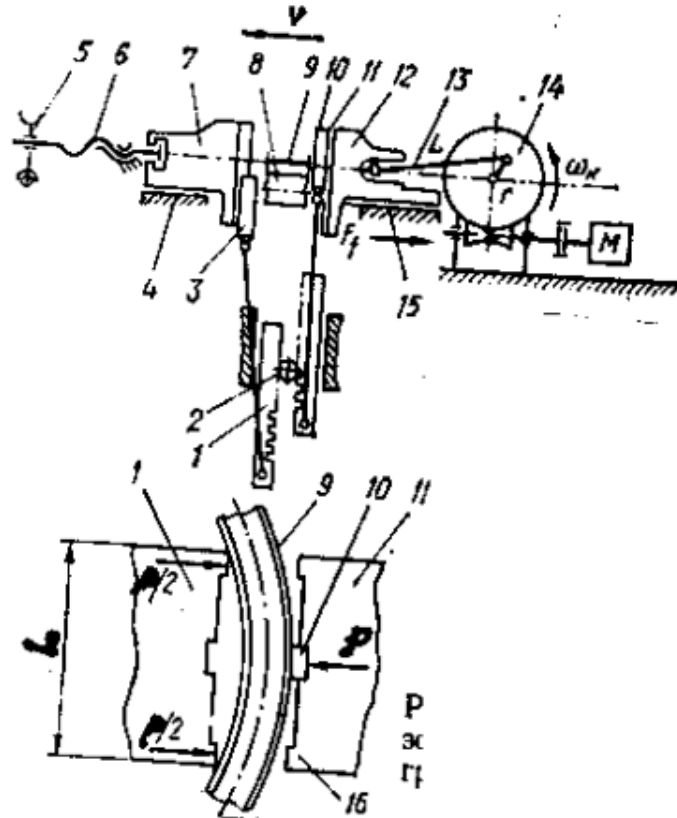


Рисунок 6.31 – Схема горизонтального правильного пресу та схема правки серповидного профілю 9

Ліва допоміжна лінійка 7 встановлюється гвинтом 6 від привода з черв'ячним редуктором 5 залежно від розміру поперечного перерізу балки 8, що знаходиться на рольгангу 8. Права лінійка 12 від кривошипного механізму 13, що приводиться в дію від редуктора 14, робить безперервно зворотно-поступальний рух з невеликим ходом. Лінійка 12 переміщується по напрямних 4 і 15. В залежності від напрямку кривизни профілю

піднімаються ліва 3 чи права 11 призми за допомогою рейкових механізмів 1 чи 2. Призми притискають профіль до виступів 16 на кінцях лінійок і виправляють балку. Призми при підйомі використовують для кантування профілю за допомогою виступу 10.

Роликові сортоправильні машини застосовують для холодної правки сортових профілів майже всіх типів перерізів. За конструкцією такі машини поділяються на три основні типи:

- консольні;
- закритого типу;
- з навскіс розташованими роликами.

Машини відкритого (консольного) типу (рис. 6.32, а) оснащені консольними валами 7, на які встановлюються профільовані ролики-бандажі 1. Пара роликів — верхній і нижній — формує калібр, що відповідає формі поперечного перерізу профілю. Відстань між роликами по висоті регулюють за допомогою ексцентрикових касет 2. Вали та касети розміщені в станині 3 і обертаються від електродвигуна М через шестерінчасту кліть 6 і шпинделі 5. Такі машини прості в налаштуванні, забезпечують зручне спостереження за процесом правки та дозволяють швидко замінювати бандажі. Проте їхнім недоліком є недостатня жорсткість конструкції.

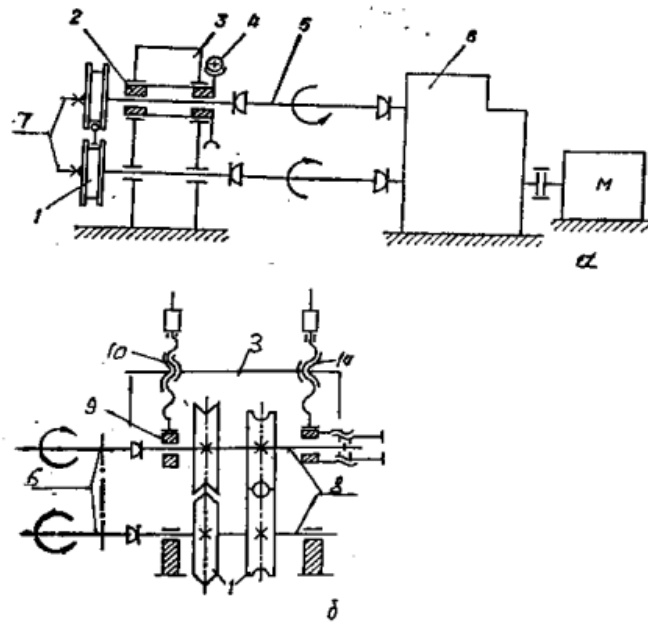


Рисунок 6.32 – Кінематичні схеми роликових сортоправильних машин:  
а – відкритого; б – закритого типів



Машини закритого типу (рис. 6.32, б) відзначаються підвищеною жорсткістю завдяки використанню двоопорних валів 8, які встановлені в підшипниках кочення 9. На цих валах можна монтувати кілька пар роликів-бандажів 1. Верхні ролики регулюються по висоті за допомогою гвинтових натискних пристроїв 10.

З розвитком виробництва тонкостінних фланцевих профілів, що під час прокатки набувають просторової кривизни (скручуються по гвинтовій лінії), були створені нові типи сортоправильних машин — із горизонтальними та вертикальними роликами, розміщеними в окремих секціях (рис. 6.33, а), а також машини для правки методом стисненого кручення (рис. 6.33, б).

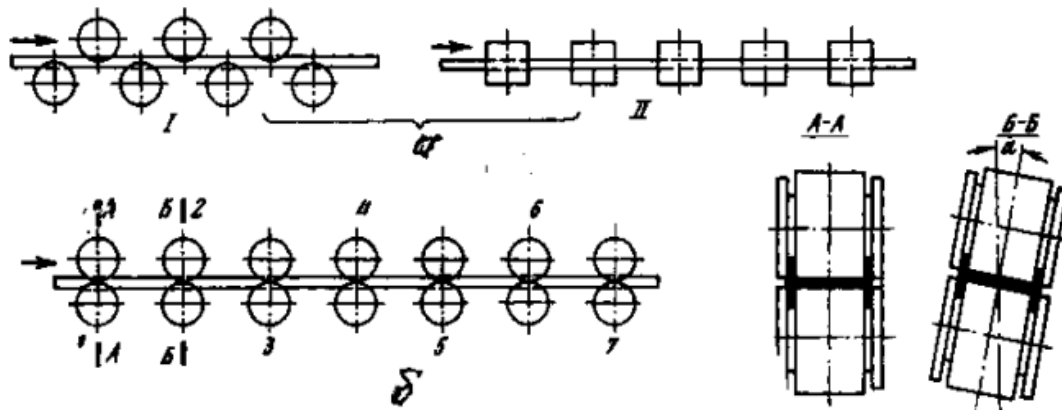


Рисунок 6.33 – Схема правки тонкостінних фасонних профілів: а – правка в послідовно розташованих секціях з горизонтальними I і вертикальними II роликами; б – правка скошеним згином (стисканням крученням), де 1, 3, 5 і 7 – стаціонарні ролики; 2, 4, 6 – поворотні ролики

У двосекційних машинах процес правки здійснюється послідовно: у першій секції профіль виправляють горизонтальними роликами у вертикальній площині, а в другій — вертикальними роликами в горизонтальній площині.

Суть методу правки скошеним згином полягає в тому, що у стаціонарних парах роликів (1, 3, ...) профіль вирівнюють у вертикальній і горизонтальній площинах, тоді як у поворотних парах (2, 4, 6) до нього прикладається крутний момент, спрямований протилежно крученню



профілю. Конструктивно машини виконані так, що горизонтальні ролики встановлені в нерухомих станинах, а поворотні — консольно. Консоль разом зі станиною може обертатися навколо вертикальної осі за допомогою зубчастого сегмента та рейки, завдяки чому профіль під час проходження між роликами згинається під потрібним кутом між стаціонарними та повернутими роликами.

## 6.21 Трубопрокатні стани

При виготовленні безшовних труб методами гарячого деформування застосовують таку основну технологічну схему:

- виготовлення гільзи (круглої заготовки з отвором);
- нагрів та розкатування гільзи в трубу проміжних розмірів;
- нагрів та чистове прокатування труби.

Для здійснення першої операції можливе застосування такого обладнання: гідравлічні преси; стани поперечно-гвинтового прокатування; послідовне застосування пресів та валкової прошивки.

Для розкатування гільзи в чорнову трубу застосовують:

- подовжнє прокатування на стаціонарно встановленій короткій оправці (автоматичні стани);
- періодичне прокатування на довгій плаваючій конічній оправці (пілігримові стани);
- подовжнє прокатування на довгій циліндричній плаваючій оправці в багато клітьовому стані (неперервні стани);
- гвинтове прокатування на довгій плаваючій оправці (розкатні стани);
- проштовхування «стакану» за допомогою дорну через послідовно розташовані роликові обойми, розміри калібрів в яких поступово зменшуються, або калібрів-кілець (рейкові стани);
- видавлювання металу через матрицю з стаціонарно встановленою оправкою (трубопрофільні преси);
- поперечне прокатування на нерухомій оправці в конічних валках, які розміщено в обоймі, що обертається (планетарні стани).

Для формування готової труби застосовують прокатування на калібрувальних, редуційних або редуційно-розтяжних станах. Можливе також поєднання обкатування труби на розкатному косовалковому стані з

прокатуванням на калібрувальному або редуційному станах та прокатування на станах-роширювачах.

Найбільш поширеними є трубопрокатні агрегати з автоматичними, пілігримовими, неперервними і тривалковими розкатними станами.

Розглянемо склад та особливості конструкції основного обладнання трубопрокатних цехів.

Прокатування чорнової труби на автоматичному стану (рис. 6.34) здійснюється за декілька проходів. Після кожного проходу труба виходить з осередку деформації і залишається на оправці. Окремим механізмом труба разом з оправкою повертається на  $90^{\circ}$ , валки кліті розводяться (збільшують зазор між ними) і роликами та валками кліті труба транспортується на вхідну сторону стану. Після цього валки кліті встановлюють з відповідним зазором відносно оправки і здійснюється наступний прохід.

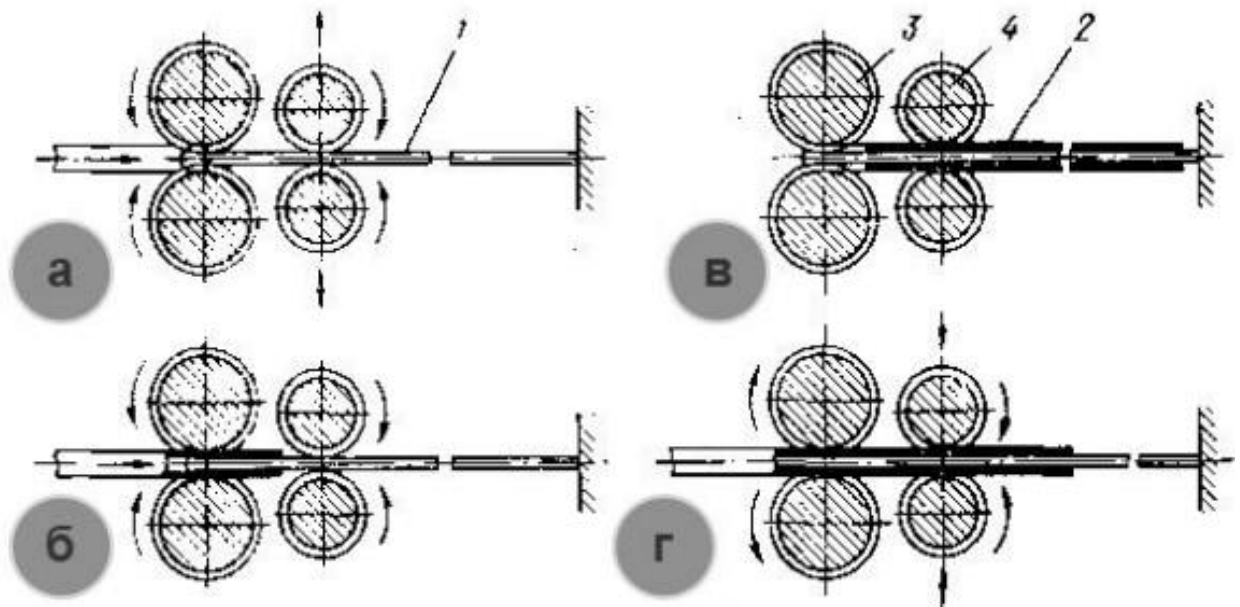


Рисунок 6.34 – Послідовність прокатування труби на автоматичному стані: а – захват гільзи валками; б – прокатування труби; в – стадія завершення проходу – вихід труби з осередку деформації; г – повернення труби на вхідну сторону стану



Безперервний трубопрокатний стан (рис. 6.35) складається з 7-9 двовалкових клітей, вісі яких розташовані під кутом. Прокатку ведуть із застосуванням рухливого циліндричного оправлення, на яке надівається гільза. Після прокатки оправлення витягають і охолоджують.

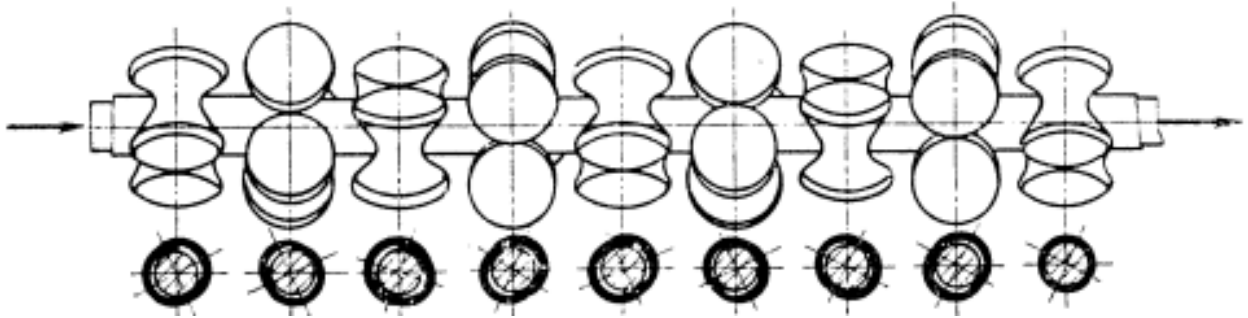


Рисунок 6.35 – Схема безперервного стану

Пилигримовий стан складається із двовалкової кліті й механізму, який подає (рис. 6.36). Напрямок обертання валків у цьому стані протилежний руху заготовки. Метал обтискається в калібрі змінного перетину тільки за півоберт валків. У наступний півоберт заготовка проходить між валками без обтиснень. Процес прокатки труб на пилигримовому стані полягає в наступному: у товстостінну гільзу (1) пропускають оправлення (2), причому довжина оправлення більше довжини гільзи. Гільза разом з оправленням подавальним механізмом переміщається до валків калібру (3), що захоплює гільзу й обтискає її своєю робочою частиною. Після півоберту валків гільза виходить із робочої частини калібру й стає вільною.

Протягом наступного півоберту поршень швидко штовхає вперед оправлення з гільзою, які при цьому повертаються навколо осі на 90° і потім захоплює нову частину гільзи. Подавальний механізм протягом одного оберту валків переміщується на відстань 8-25 мм. Процес триває до прокатки всієї гільзи. Після прокатки валки розводять і механізм, що подає, зворотним ходом витягає оправлення із труби.

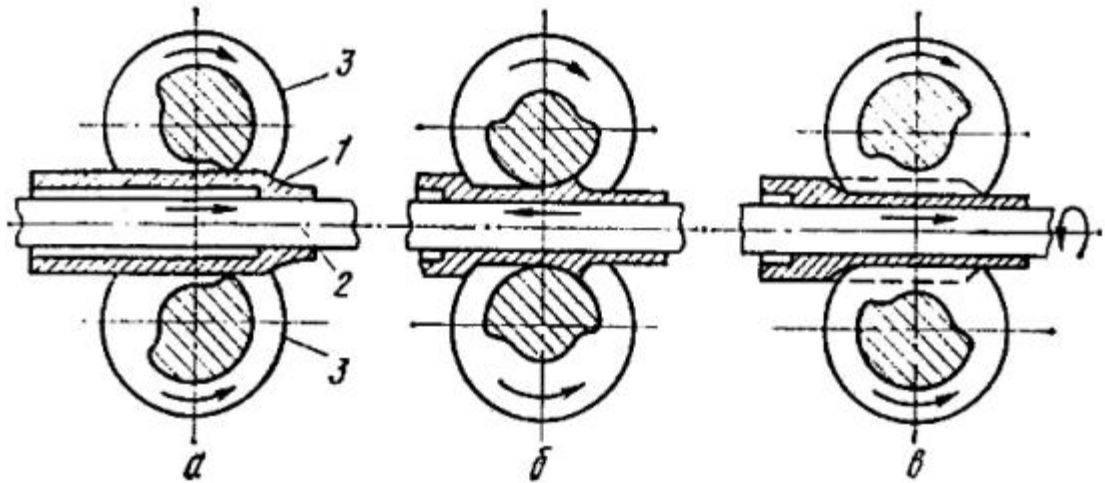


Рисунок 6.36 – Три стадії процесу прокатки на пилигримовому стані

Зварені труби роблять пічним зварюванням і електрозварюванням.

Безперервний процес пічного зварювання труб (рис. 6.37) здійснюється в наступному порядку. Гарячекатаний штрипс (1) безупинно просувається через піч, у якій газовими пальниками (2) нагріваються кромки до температури зварювання близько 1450°C, а середина до 1350°C.

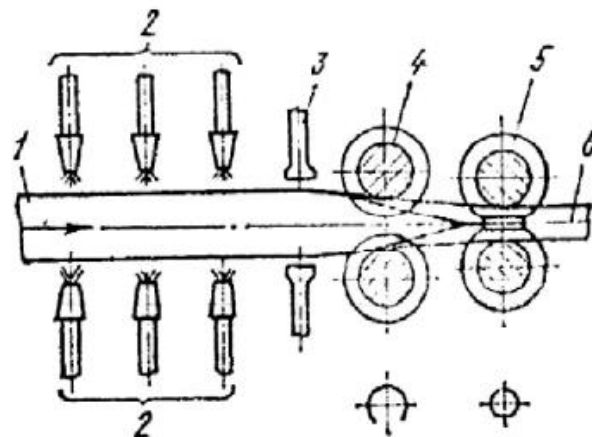


Рисунок 6.37 – Схема процесу пічного зварювання

Перша приводна пара валків (4) повертає штрипс у трубну заготовку без з'єднання кромки, а друга пара валків (5) зводить кромки трубної заготовки й стискає їх, і утворюється зварена труба. Перед стиском у другій парі валків кромки штрипса обдувають струменем повітря із сопла (3), цим

забезпечується видалення окалини із кромки і підвищення їхньої температури до 1500-1520°C. Зварювання кромки відбувається в результаті молекулярного зчеплення здавлюваних поверхонь металу, нагрітого до високої температури

Електрозварні труби (рис. 6.38) роблять у потоковій лінії трубоелектрозварювального агрегату (ТЕЗА).

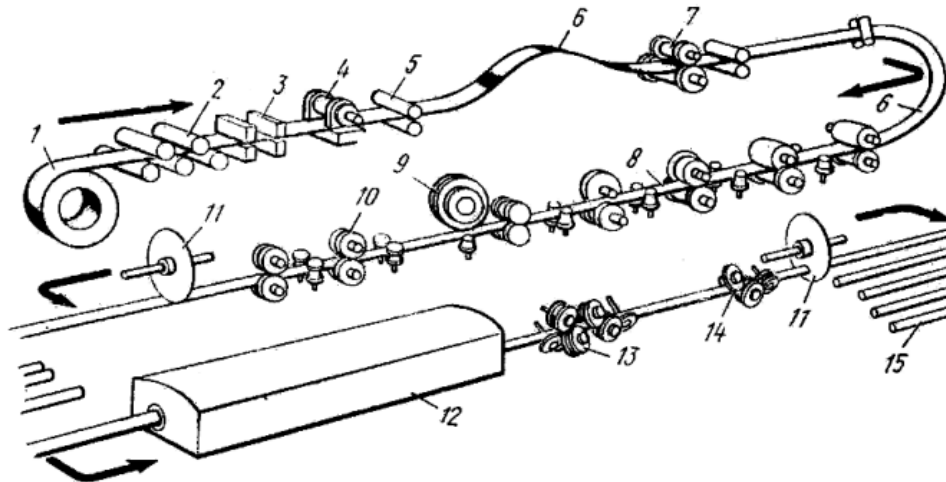


Рисунок 6.38 – Схема безперервного трубоелектрозварювального агрегата (ТЕЗА)

З розмотувача (1) штаба за допомогою тягнучих роликів (2) надходить для виправлення в правильній машині (3). Передній кінець штаби подається в гільотинні ножиці (4) для обрізання. Слідом за ножицями встановлена стикозварювальна машина (5) для контактного зварювання кінця попереднього рулону з переднім кінцем наступного рулону. Для забезпечення безперервної роботи формувального й зварювального станів у період стикування кінців рулонів створюється запас штаби в петлеутворювачі (6). На дискових ножицях (7) обрізаються кромки і штаба подається на ділянку формування (8). Сформована в холодному стані заготовка після виходу з останньої кліти згортається в стик в електрозварювальних машинах (9)



## 6.22 Стани спеціального призначення

Процеси одержання спеціальних видів прокату відрізняються більшою різноманітністю. Причому деякі з них здійснюють на металургійних підприємствах, а інші - на машинобудівних. Особливо велике значення має прокатка періодичних профілів, які застосовують як фасонну (економічну) заготовку для наступного штампування і як заготовку під остаточну механічну обробку.

До економічної вихідної заготовки можна віднести низку періодичних профілів, що представляють собою круглу сталь зі змінним перетином на певній довжині розкату. Так, наприклад, для виготовлення осей і напівосей вантажних автомобілів потрібні профілі змінного перетин, які раніше виготовляли шляхом обточування заготовки круглого перетину на токарних верстатах.

При цьому (тобто при обточуванні на токарських верстатах) був високий видатковий коефіцієнт металу, багато металу йшло в стружку. Крім того, вартість виготовлення осі або півосі автомобіля була набагато більше, ніж у випадку, якщо для остаточної обробки задається заготовка змінного перетину.

У наш час такі профілі, як правило, одержують способом гарячої прокатки на спеціальних станах або на звичайних прокатних станах, але з певним калібруванням прокатних валків. До профілів періодичних перетинів належать ступінчасті й конічні вали й осі, півосі для автомобілів, торсіонні вали, шпинделі текстильних веретен, тощо. Якщо ці профілі робити різанням, то витрата металу в стружку може досягати 25%. У наш час застосовуються кілька станів поперечно-гвинтової прокатки. Розглянуті типи станів класифікуються головним чином по найбільшому діаметру заготовки, що прокатується. Прийнята наступна градація станів: 10, 20, 50, 70, 80, 100, 120, 220 мм. Швидкість прокатки на цих станах 2 - 6 м/хв, натяг 1 - 60 тс. У зв'язку із широким діапазоном розмірів діаметрів вихідної заготовки відповідно виходить і різна продуктивність станів - від 0,02 до 33 т/г.

Технологічний процес прокатки профілів на цьому стані порівняно простий. У якості вихідної заготовки застосовується кругла сталь з певним діаметром. Довжина заготовки, як і її діаметр, визначаються виходячи з

розмірів кінцевого профілю і загальної витяжки. Попередньо нагріта в печі заготовка надходить на стан, де й здійснюється її прокатка.

Прокатний стан (рис. 6.39) являє собою установку типу токарського верстата, на напрямляючих станинах якої переміщується тягучий візок із захватом для заготовки. Приводні прокатні валки змонтовані так, що можуть змінювати своє положення, утворюючи просвіт певних розмірів; число валків - три.

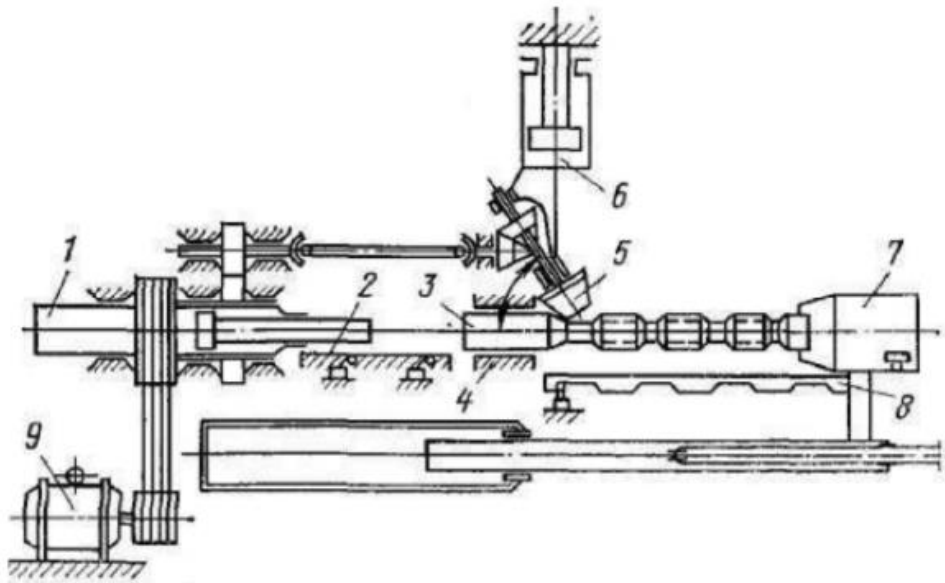


Рисунок 6.39 – Тривалковий стан 100 гарячої прокатки круглих періодичних профілів: 1 - пневматичний штовхач; 2 - прийомний жолоб; 3 - заготовка; 4 - проходка; 5 - прокатний валок; 6 - гідравлічний циліндр натискного механізму; 7 - затискний патрон; 8 - копіювальна лінійка; 9 - привід валків

Таким чином, у міру зміни просвіту, що утворюється між валками і заготовкою, що протягується, виходить готовий профіль змінного перетину. Далі розкат може розрізатися на мірні довжини, згідно до розкрою, і оброблятися на наступних технологічних лініях.

Слід зазначити, що одержання профілів змінного перетину по даній технологічній схемі не є складним процесом. Великою перевагою є незалежність процесу прокатки й розмірів заготовки від кінцевого профілю; переходи з одного профілерозміру на інший не вимагають зупинок стану для перевалок або зміни калібру. Сам процес прокатки на стані може бути безперервним у часі, якщо стан забезпечується необхідною заготовкою.



Новим технічним рішенням є прокатка періодичних профілів складних перетинів у двовалковій або багатовалковій кліті. При використанні кожної з названих клітей неодмінною умовою є жорсткий кінематичний зв'язок валків між собою й точно розраховані діаметри валків, довжина окружності яких визначає виконання профілю по довжині, кратність числа профілів, що відповідає довжині окружності.

Останнім часом широке розповсюдження одержали багатовалкові прокатні кліті, що забезпечують одночасне обтиснення по всьому периметру смуги, що прокатується.

Такі кліті можуть бути використані для прокатки періодичних профілів будь-якого ступеню складності.

Зазвичай число валків - три або чотири. Усі валки також перебувають у жорсткому кінематичному зв'язку і є приводними, що є гарантією одержання профілю високої точності за формою й розмірами.

Для чотиривалкової кліті може бути застосоване оформлення приводу тільки двох валків, якщо в сортамент профілів, що прокатуються, входять найпростіші фасонно-періодичні профілі лише з однією періодичністю.

У тривалковому калібрі при прокатці періодичних профілів кінематичний зв'язок усіх валків обов'язковий, тому що в сортаменті немає таких профілів, де б була допущена відома несиметричність в оформленні елементів періодичності.

Однією з різновидів поперечно-гвинтової прокатки є накатування різьблень - найбільш продуктивний і прогресивний спосіб утворення різьб.

Приблизно співвідношення продуктивності деяких розповсюджених методів утворення різьб шостого ступеня точності характеризується наступними коефіцієнтами: нарізання круглими плашками - 1,0, нарізання головками й гребінками зі швидкорізальної сталі - 2,5; нарізання твердосплавними різцями (гребінками) методом послідовних проходів - 4,0, накатування головками із круглими роликками з осьовою подачею - 10,0.

Накатування різьблення слід застосовувати в тих випадках, коли оброблюваний матеріал здатний зазнати пластичної деформації.

На рис. 6.40 зображена схема накатування гвинтового різьблення радіально осьовим способом у нагрітому стані. Заготовка (1), нагріта до температури 700 - 8000 С, вштовхується у вхідну частину простору між двома роликками (2) і двома напрямляючими (3), захоплюється роликками й,

здійснюючи гвинтовий рух, просувається в напрямку накатуючої зони роликів. При цьому виступи роликів формують на поверхні заготовки гвинтові канавки. На рисунку 8.2 зображений різьбонакатний двухроликовий напівавтомат.

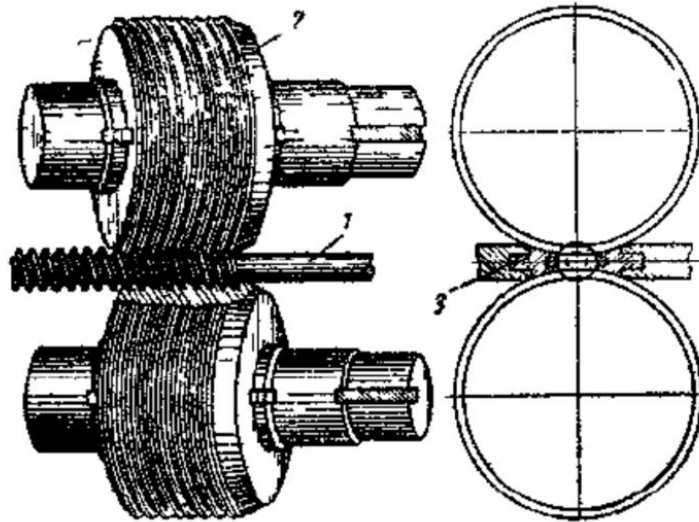


Рисунок 6.40 – Схема накатування гвинтової різьби радіально осьовим методом

Основні переваги методу накочування різьб - більша продуктивність за рахунок високих швидкостей накатування (30 - 90 м/хв) і відсутності звинчування головки з виробу при зворотному ході, висока точність (4 - 6 ступеню) і низька шорсткість поверхонь торованої різьби, можливість утворення різьб на тонкостінних деталях без попереднього зняття припуску й на деяких важкооброблюваних матеріалах, що в порівнянні з нарізуванням збільшує продуктивність у десятки разів

Процес одержання куль різних діаметрів ковальсько-пресовими методами досить складний і трудомісткий. ДНДІметмаш розробив цілком новий технологічний процес одержання куль - поперечну прокатку їх у гвинтових калібрах на спеціальних станах. Цей технологічний процес зводиться до наступного.

Нагріта заготовка круглого перетину подається між двома обертовими косорозміщеними валками з гвинтовим калібром, утвореним

двома рівчачками, 37 виконаними на поверхні валків (рис. 6.41). Профіль і розміри калібру відповідають формі й розмірам кулі, що прокатується.

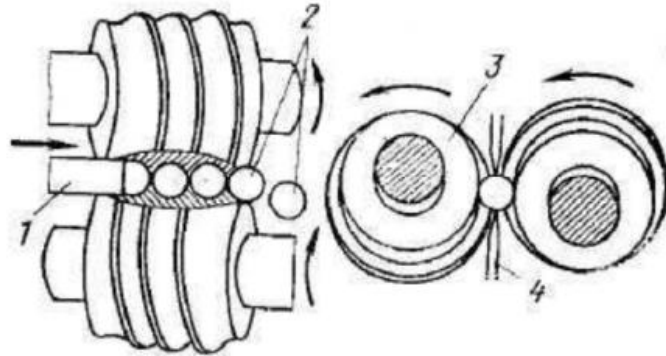


Рисунок 6.41 – Схема поперечно-гвинтової прокатки куль: 1 - заготовка; 2 – готові вироби; 3 - робочі валки з гвинтовими калібрами; 4 – проводки

Захоплювана валками (початком калібру) нагріта заготовка обертається й одночасно просувається по осі прокатки. Внаслідок збільшення висоти бурту калібру заготовка зазнає обтиснення, здобуває форму кулі та в остаточному підсумку відділяється від основної маси заготовки, видається як готова куля. За кожний оберт валків прокатується одна куля. Однак можна виконати дво-, три і чотиривалкові гвинтові калібри, що дозволить за один оберт валків одержувати відповідну кількість куль.

Даний спосіб виробництва куль дозволив зменшити витрату металу на 20% і збільшити продуктивність в 2 - 10 разів у порівнянні з методами, що раніше застосовувалися. При цьому забезпечується досить висока точність виготовлення куль - витримується допуск 0,2 - 0,4 мм. Цим способом у вітчизняній металургії прокатують кулі діаметром 25 - 125 мм.

Процес прокатки куль, призначених для підшипників, відрізняється від наведеного вище способу прокатки млинових куль тільки лише способом відділення від відформованої кулі перемичок, які не обрізуються і не обкатуються. При цьому куля не розвертається в калібрі, а виходить із валків строго по осі, що проходить через смуги перемичок.

Характеристикою стану є діаметр кулі, що прокатується. Продуктивність кулепрокатних станів різноманітна, і вона залежить від частоти обертання валків, їх калібрування й діаметра кулі. У вітчизняній

металургії працюють кулепрокатні стани 25-50, 40-80, 80-125, що забезпечують продуктивність 45 - 385 шт/хв.

Колеса в процесі експлуатації зазнають ряд фізико-механічних впливів. Наприклад, у місцях стику рейок при руху вагонів колеса зазнають значних динамічних впливів. Одночасно між контактними поверхнями колеса й рейки виявляється тертя - ковзання. Колеса працюють при знакозмінних температурних умовах.

Ці основні фактори зумовлюють певний технологічний процес виробництва коліс, а також і бандажів для коліс. Спеціально для коліс визначений наступний хімічний склад сталі, %: 0,52- 0,60 C (для окремої групи коліс допускається 0,57 - 0,65 C); 0,5-0,9 Mn; 0,17- 0,37 Si;  $\leq 0,04$  P і S; 0,25 Cr, Cu і Ni (кожного).

У наш час виробництво коліс здійснюється шляхом комбінації двох процесів обробки металів тиском: прокатки й ковальсько-пресової обробки, причому ковальсько-пресових операцій застосовується значно більше, ніж прокатних.

Основні технологічні операції виробництва коліс наступні (рис. 6.42):

1. різка і ламання холодних злитків на заготовки зі зважуванням і розсортуванням останніх по вагових групах;
2. нагрів заготовки в печах до заданої технологічної температури;
3. обтиск (осаду) і прошивання отвору в заготовці на пресі № 1;
4. формовка заготовки в колесо на пресі № 2;
5. розкатка заготовки в колесо;
6. калібрування коліс и вигин диска на пресі №3;
7. термічна обробка коліс;
8. механічна обробка коліс.

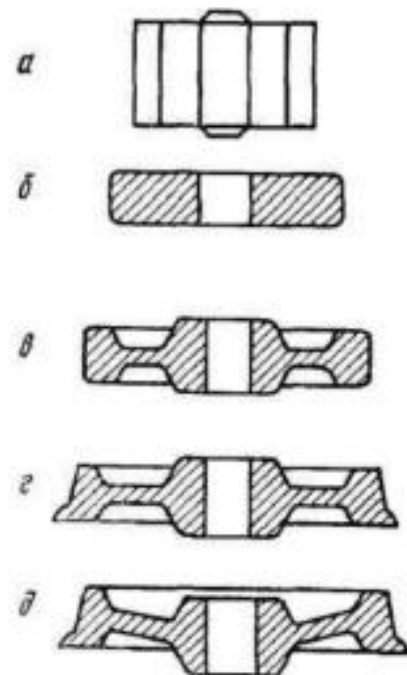


Рисунок 6.42 – Послідовність одержання залізничних коліс



При зазначеній послідовності технологічних операцій поверхня кочення коліс піддається загартуванню й відпуску, завдяки чому підвищується зносостійкість коліс. Однак останні дві операції можуть чергуватися у зворотній послідовності. Схема розташування й склад обладнання колесопркатного стану наведені на рис. 6.43.

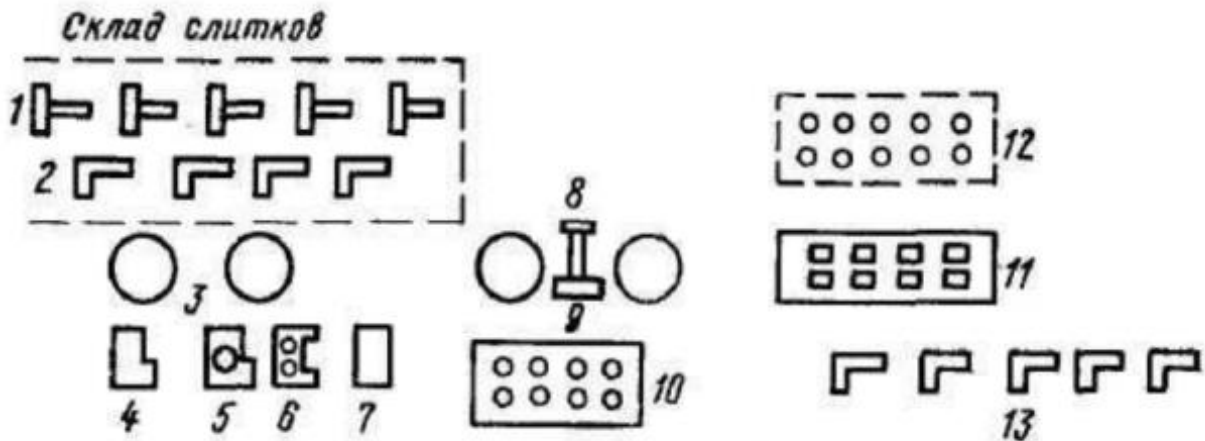



Рисунок 6.43 – Схема розташування обладнання колесопркатного стану: 1 - верстати для різання злитків; 2 - гідравлічні верстати для ламання злитків; 3 - карусельні нагрівальні печі; 4 - парогідравлічний прес зусиллям 7000 тс; 5 - прес для штампування ступиці й обода колеса; 6 - колесопркатний стан; 7 - парогідравлічний прес зусиллям 2500 тс; 8 - карусельні гартівні печі; 9 - гартівні столи; 10 - кільцеві печі ізотермічного відпалу; 11 - карусельні верстати для обточування коліс; 12 - кільцеві печі для відпуску коліс; 13 - верстати для ремонту коліс

Технологічний процес виробництва коліс на стані зводиться до наступного. Злитки шестигранної й дванадцятигранної форми масою 3 - 3,2 т і периметром, обмірюваним на висоті 1 м від даної площини, 1613 - 1632 мм розрізаються на шість або п'ять заготовок, відповідно розміру колеса. Кожна група периметрів має самостійний розкрій. Перед розрізанням злитки ретельно оглядають і поверхневі дефекти видаляють вирубкою або автогенним зачищенням. Розрізка злитків здійснюється на спеціальних багаторізьцьових зливкорозрізних верстатах, при цьому різ проводиться не на всю глибину, а залишається шийка й далі злиток розламується на



частини за допомогою зливколомача, що представляє собою клин, виконаний на кінці штока.

Нагрів заготовки проводиться до температури 1200 – 12500 С у спеціальних печах секційного нагріву з обертовим подом. Печі розділені на чотири зони: підігрівальну, дві нагрівальні й витримки. Завантаження заготовок у піч і видача їх з неї здійснюються за допомогою машин.

Нагріта заготовка після видалення окалини подається на прес № 1, де проводиться вільне осадження заготовки до висоти приблизно 200 мм, що відповідає технологічним параметрам. При цьому окалина, що залишилася, 67 здувається за допомогою пари; потім ця заготовка вдруге піддається осадженню до висоти приблизно 105 мм із одночасним виконанням прошиття отвору.

Далі в пресі № 2 проводиться штампування намічуваних ступиць й обода колеса. Після, ступиці, що оформилися й ободи заготовка в такому виді подається в розкатний семивалковий стан, де остаточно формуються обід, диск, ступиці. Прокатане колесо передається в прес № 3, де проводиться калібрування колеса по зовнішніх розмірах з допуском на механічну обробку й вигинання диска; одночасно на цьому ж пресі прошивають у диску два отвори й проводиться нанесення клейма (марка сталі й дата виготовлення).

Технологічним процесом устанавлюється, що калібровані колеса після преса № 3 повинні мати температуру не нижче 800 - 8500 С. Охолодження коліс проводиться на шлеперному холодильнику з регульованою швидкістю руху до температури 550—6000 С.

Щоб уникнути флокеноутворювання, колеса знімають із холодильника й завантажують у шахтні ями для ізотермічної витримки при температурі 550- 6000 С протягом 2,5-3 г.

Після цього проводиться їх нагрів в кільцевих печах до гартівної температури ( $t=850 - 9200$  С) протягом 2 г.

Загартування здійснюється на особливих гартівних столах; частота обертання колеса 30 об/хв. На поверхню катання протягом 60 - 80 с під тиском 4 атм. подається вода, нагріта до температури 25 - 300 С.

Після загартування колеса піддаються відпуску: нагрівання в колодязних відпускових печах і спільне охолодження до температури 350 - 4000 С, потім ці колеса видаються з печей і охолоджуються на повітрі.

На рис. 6.44 показані схеми прокатки на колесопрокатному (а) і кільцепрокатному (б) станах:

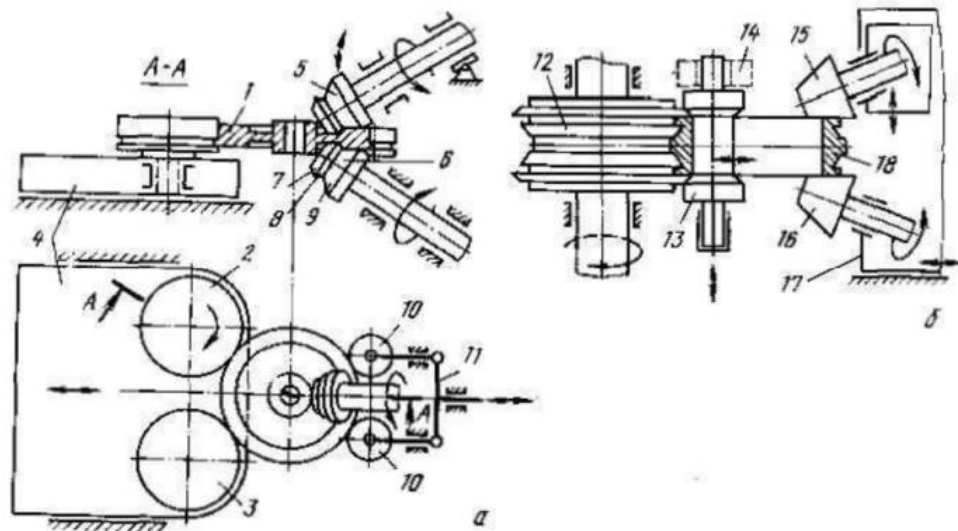


Рисунок 6.44 – Схеми прокатки на колесопрокатному (а) і кільцепрокатному (б) станах: 1 - прокатуване колесо; 2, 3 - приводний і не приводний корінні валки; 4 - каретка переміщення корінних валків; 5, 6 - похилі праведні валки (верхній - регульований, нижній - стаціонарний у вертикальному напрямку); 7, 8, 9 - кінцевий, середній і початковий конуси похилих валків; 10 - натискні не приводні валки, регульовані в горизонтальному напрямку; 11- система регулювання положення натискних валків, що забезпечує вирівнювання зусиль на них; 12 – приводний стаціонарний валок (головний); 13 - внутрішній не приводний валок (дорн), регульований у горизонтальному напрямку (опускаємий при задачі в стан заготовки кільця); 14 - накидна додаткова опора; 15, 16 - приводні похилі валки (верхній - регульований, нижній - стаціонарний у вертикальному напрямку); 17 - каретка горизонтального переміщення похилих валків; 18 - прокатуване кільце



## 6.23 Допоміжне обладнання прокатних цехів

Допоміжне обладнання – агрегати та механізми потокових технологічних ліній прокатних цехів підрозділяють на дві основні групи: транспортну, що виконує операції з переміщення металу, подачі його до робочих клітей і його кантування і обробку, робота якої пов'язана з операціями з обробки прокату.

### 6.23.1 Транспортна група

До транспортної групи агрегатів і механізмів належать зливковози, рольганги, холодильники, маніпулятори, кантучі, а також поворотні й підйомні механізми. До обробної групи відносять ножиці, пилки, правильні механізми, преси, моталки, розмотувачі та інше обладнання.

Зливковози. На сучасних обтискних станах використовують дві схеми подачі злиwkів — човникову та кільцеву. Найпоширенішою є кільцева система злиткоподачі, що забезпечує високу продуктивність — до 5–6 млн тонн і більше готового прокату на рік. Її назва походить від того, що зливковоз рухається по замкнутому маршруту.

Розігріті до температури прокатки зливки за допомогою кліщового крана виймають із нагрівальних колодязів і укладають на зливковоз, який транспортує їх до рольгангу. Далі злиток переміщується по рольгангу до робочої клітей стану.

Щоб зменшити кількість проміжного обладнання, у сучасних прокатних цехах застосовують нагрівальні колодязі з приймальними рольгангами та стаціонарними зіштовхувачами, які автоматично укладають зливки на рольганг.

Зливковоз — це самохідний візок масою близько 43 т із горизонтальною зварною платформою, призначеною для транспортування злиwkів масою до 25 т. Конструкція має пружинні амортизатори, роликові підшипники й два ходові візки. На відміну від моделей, що використовувалися раніше на блюмінгах, сучасний зливковоз не оснащується вертикальною люлькою з перекидачем — зливковоз укладається краном у горизонтальному положенні вздовж рами (рис. 6.45).

Платформа візка спирається шарнірно через роликові підшипники на плиту та два ходові візки, кожен з яких має по чотири колеса діаметром 950

мм. Колія становить 1600 мм. Рух забезпечується електродвигуном постійного струму потужністю 46 кВт (625 об/хв), який через двоступінчастий циліндричний редуктор передає обертання на ходові візки. Базова відстань між осями коліс дорівнює 2200 мм, а максимальна швидкість пересування злитковоза на прямолінійних ділянках сягає 5,4 м/с.

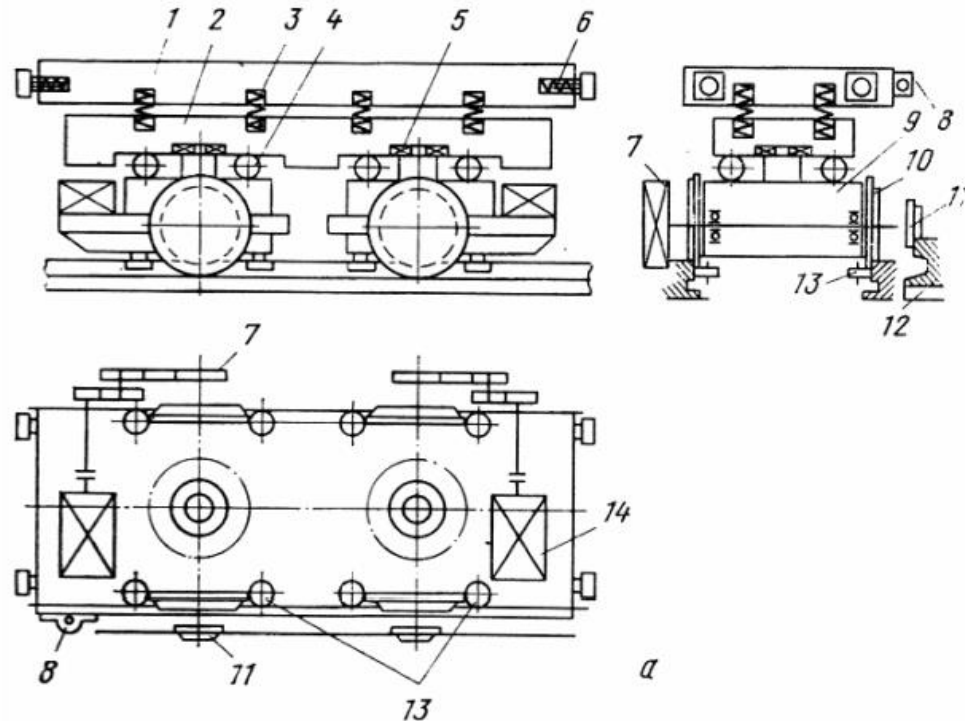



Рисунок 6.45 – Злитковоз: 1 - платформа; 2 - плита; 3,6 -амортизатори; 4,5 - роликові підшипники; 7 - редуктор; 8 - підведення ел. енергії; 9 - ходові візки; 10 - колеса; 11 - холості бігунки; 12 - додаткова рейка; 13 - напрямні ролики; 14 - ел. двигун

Під час підходу злитковоза до приймального рольгангу він зупиняється збоку, після чого штовхач переміщує злиток із платформи на ролики рольгангу. Далі злиток транспортується до валків робочої кліти блюмінгу для прокатки. Після розвантаження злитковоз без зливка рухається по закругленій рейковій ділянці, а потім повертається по прямій колії до нагрівальних колодязів, щоб прийняти наступний злиток.

Щоб забезпечити рух по вигнутій частині колії, на осях ходових коліс з зовнішнього боку встановлені бігунки діаметром 630 мм, які спираються



на третю додаткову рейку, розташовану вище основних. Під час наближення до закругленої ділянки бігунки поступово приймають навантаження на себе, а перші бокові колеса піднімаються, виключаючи їх контакт з рейкою. Таким чином, на повороті злитковоз має чотири опори — два ліві ходові колеса та два бігунки, що запобігає буксуванню приводних коліс. Напрямок руху по криволінійній частині забезпечується чотирма парами напрямних роликів. Рух на цій ділянці здійснюється зі швидкістю 1–1,5 м/с.

Переваги злитковозів:

- проста й надійна конструкція;
- невелика маса та низьке енергоспоживання;
- кільцева схема подачі зливків;
- висока продуктивність роботи.

Рольганги. Рольганги призначені для транспортування металу до прокатного стану, подачі його у валки, приймання після прокатки та переміщення до ножиць, пилок, правильних механізмів і допоміжного обладнання (рис. 6.46). Їх загальна довжина значна, а маса може становити 20–30% маси всього механічного устаткування прокатного цеху.

За призначенням рольганги поділяють на робочі та транспортні. Робочі рольганги розташовані біля клітей і забезпечують подачу металу у валки та приймання його після прокатки. Усі інші є транспортними.

Рольганги можуть мати груповий або індивідуальний привід роликів, а також виконуватися з холостими роликами.

- При груповому приводі усі ролики однієї секції (4–10 і більше) приводяться в дію одним електродвигуном через систему шестерень і трансмісійний вал. Такі рольганги використовують на ділянках з невеликою швидкістю транспортування, наприклад, біля блюмінгів.

- При індивідуальному приводі кожен ролик або пара роликів має власний електродвигун. Такі системи застосовують у швидкохідних транспортних рольгангах або як перші ролики робочих рольгангів на обтискних станах. Вони відзначаються простотою конструкції та зручністю обслуговування — кожен ролик монтується на окремій рамі й легко замінюється. Із типових роликів можна зібрати рольганг будь-якої довжини з необхідним кроком роликів.

Ролики часто виготовляють із труб, до яких приварюють кінцеві маточини, насаджені на вал; іноді шийки роликів встановлюють на конічних

або сферичних підшипниках. Максимальна швидкість транспортування досягається, коли працюють усі ролики рольгангу, що забезпечує найбільше тягове зусилля.

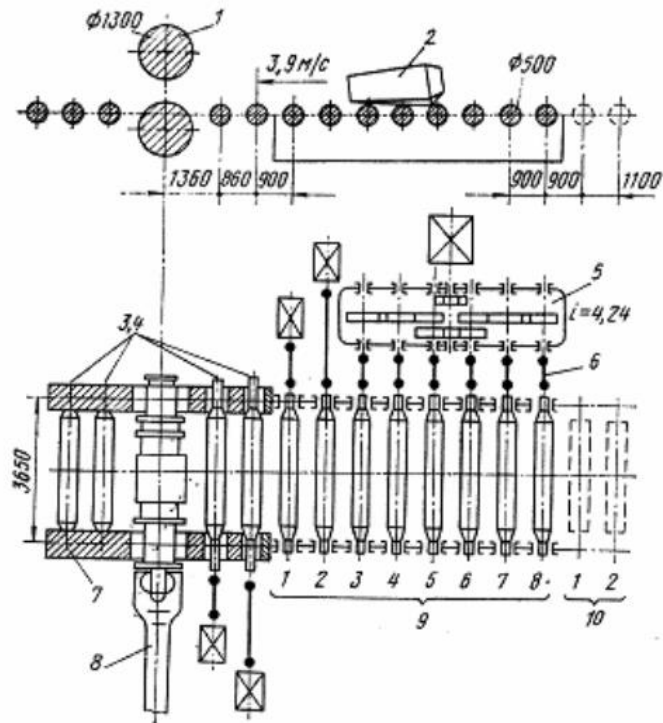


Рисунок 6.46 – Робочий рольганг блюмінгу: 1 - валки; 2 - злиток; 3,4 - станинні ролики; 5 - редуктор; 6 - зубчасті шпинделі (муфти); 7 - станини робочої кліті; 8 - універсальні шпинделі від основних електродвигунів; 9 - робочий рольганг; 10 - розкочувальний рольганг

З технологічних міркувань рольганги часто поділяють на кілька секцій, кожна з яких має власну систему керування. Така конструкція дозволяє забезпечити безперервність руху заготовок або створювати розрив між смугами для подальших операцій (наприклад, перед подачею до холодильника після різання летючими ножицями).

Рольганги з холостими роликами використовуються як транспортні, розташовуються під невеликим ухилом, завдяки чому метал переміщується під дією власної ваги. Такі рольганги ще називають гравітаційними.

Ролики виготовляють різних типів — цільноковані, литі, бандажовані або трубчасті, залежно від умов експлуатації та призначення.



Транспортні рольганги (підвідні та відвідні) обтискних станів зазвичай обладнані груповим приводом. Вони мають полегшену конструкцію, оскільки призначені для транспортування довгих зливків або слябів, а навантаження на окремий ролик у цьому випадку є невеликим. Уздовж усіх транспортних рольгангів встановлюють бічні напрямні лінійки зі сталі, які спрямовують смугу під час руху.

До основних параметрів рольгангів належать діаметр і довжина бочки ролика, крок між роликами та швидкість їх обертання. Щоб зменшити масу рольгангу та знизити енергоспоживання, діаметр роликів вибирають мінімально можливим, з урахуванням їхньої міцності. Довжину бочки робочих рольгангів зазвичай приймають рівною довжині бочки валків, а для транспортних — на 150–200 мм більшою за ширину смуги, що транспортується (або за сумарну ширину кількох заготовок, розміщених поруч).

Крок роликів визначається так, щоб виріб спирався щонайменше на два ролики, але не був занадто великим — надмірна відстань спричинює прогинання гарячої заготовки.

Швидкість обертання роликів робочих рольгангів має перевищувати швидкість руху металу з валків на 10–15%. Для транспортних рольгангів цей параметр залежить від типу стану та технологічних умов. Наприклад, підвідні рольганги блюмінгу, які транспортують важкі зливки, працюють зі швидкістю 1,5–2 м/с, тоді як відвідні рольганги безперервних широкосмугових станів гарячої прокатки досягають швидкості до 30 м/с.

Пакетуючі рольганги розміщують перед або після ножиць — відповідно, для подачі профілів на різання пачками чи для передавання сформованих пачок на холодильник. Ролики таких рольгангів розташовують під кутом до напрямку руху металу, що дозволяє поєднувати поздовжнє та поперечне переміщення прокату.

---

### Холодильники

Холодильники є проміжною ланкою між прокатним станом і обладнанням для подальшої обробки прокату. Їх питома маса становить 35–50% від загальної маси устаткування прокатного цеху. На холодильниках здійснюють приймання гарячого металу, його охолодження, передавання на відвідний рольганг і транспортування до обробних агрегатів.



У сортопрокатному виробництві застосовують рейкові та роликові холодильники. Найбільш поширеними є рейкові, які можуть бути одно- або двосторонніми — залежно від кількості ниток прокату, що одночасно надходять на охолодження. Охолодження металу на таких холодильниках відбувається на рухомих зубчастих рейках, які здійснюють коливально-поступальний рух. Важливою перевагою цього типу холодильників є можливість виправлення (коригування) металу безпосередньо під час його охолодження.

До холодильників сучасних сортових станів висувуються такі основні вимоги:

- а) забезпечення необхідного темпу прокатки;
- б) повна механізація та автоматизація приймання, охолодження та транспортування металу;
- в) отримання рівних і не викривлених смуг.

Збереження прямолінійності прокату під час охолодження особливо важливе на високошвидкісних станах, де довжина холодильника може досягати 150 метрів. Викривлення смуги призводить до необхідності використання додаткових правильних машин і порушує ритмічність роботи.

Попри складність приводу та велику масу, рейкові холодильники є найпоширенішими на високопродуктивних безперервних сортових станах. Вони бувають одно- або двосторонніми, одно- чи багатонитковими — залежно від кількості одночасно оброблюваних смуг.

На рис. 6.47 зображено загальний вигляд рейкового холодильника дрібносортного стану 250. Його довжина становить 125 м, ширина — 16 м. Конструкція включає підвідний рольганг, власне холодильник та відвідний рольганг. Консольні ролики підвідного рольганга розташовані з кроком 1000 мм і мають індивідуальний привід.

Холодильник складається з системи рухомих і нерухомих рейок, між якими розміщені пристрої для формування пачок охолодженого металу та їх перекладання на відвідний рольганг. Рухомі рейки здійснюють зворотно-поступальний рух по круговій траєкторії за допомогою ексцентрикових механізмів, що приводяться в дію електродвигуном.

Між роликами підвідного рольганга розташовані клапани для підйому та опускання прокату, які діють через вертикальні тяги, з'єднані з важелями кривошипно-шатунного механізму, що також має електропривід.

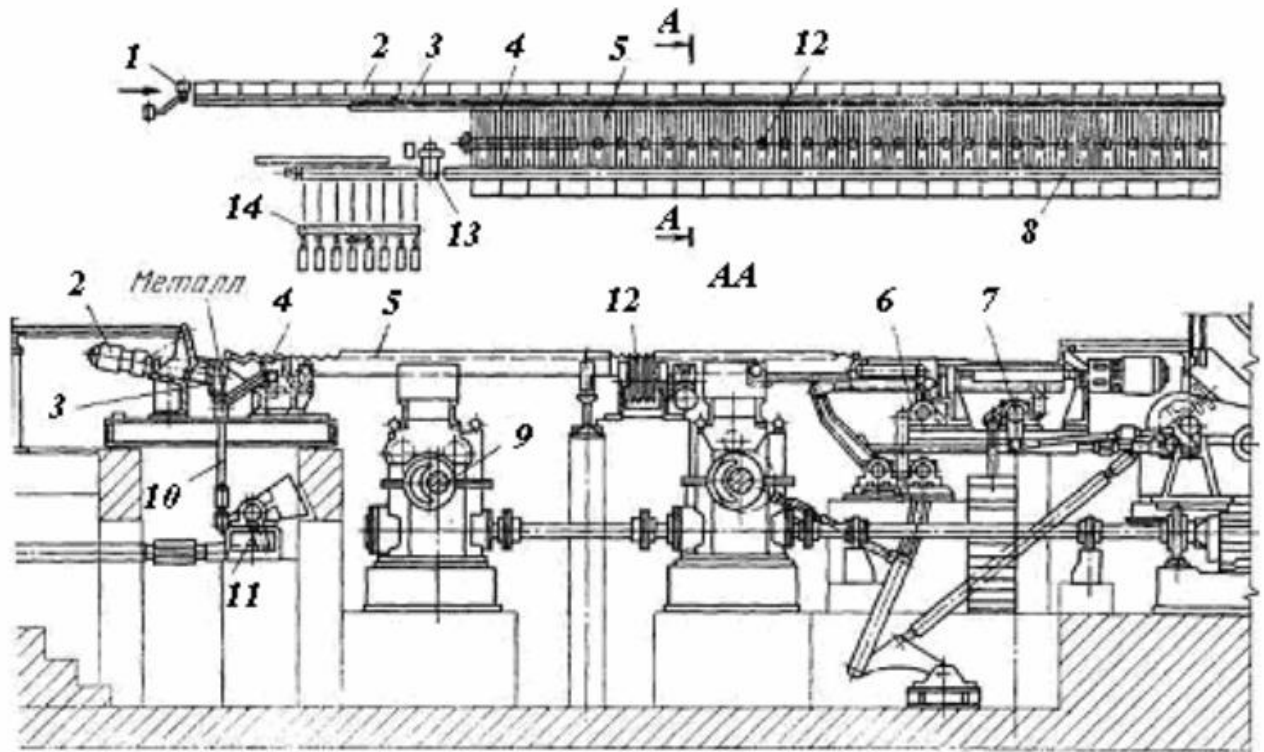


Рисунок 6.47 – Рейковий холодильник: 1 - летючі ножиці; 2 - підвідний рольганг; 3 - клапани; 4 - гребінки; 5 - система рухомих рейок; 6,7 - пристрої для набору пачок; 8 - відвідний рольганг; 9 - ексцентриковий механізм; 10 - вертикальні тяги; 11 - кривошипно-шатунний механізм; 12 - ролики для вирівнювання смуг; 13 - ножиці; 14 - ваги

Після виходу з останньої кліті дрібносортного стана смугу ріжуть летючими ножицями 1 на відрізки, довжина яких відповідає розміру холодильника (100–120 м). Потім вони надходять на рольганговий холодильник 2 і при одночасному підйомі всіх клапанів 3 скидаються на гребінку 4, розташовану вздовж роликів по всій довжині холодильника.

3 гребінок прокат забирається системою крокуючих рейок, які перекладають його на нерухомі рейки. Кожен хід рухомих рейок переміщує смуги на 120 мм — це відповідає кроку зубів рейок. У процесі руху по холодильнику прокат охолоджується до температури 80–120 °С, після чого формується у пачки по 10–20 смуг і подається на відвідний рольганг, що веде до ножиць 13 для холодного різання на мірні довжини. Після цього пачки зважують на терезах 14.



Довжина холодильника з поперечним переміщенням металу визначається максимальною довжиною прокатуваних смуг і на безперервних дрібносортних станах становить 125–150 м. Середня площа рейкового холодильника на 1 т сталі за годину дорівнює 19 м<sup>2</sup>.

Важливим фактором, що впливає на ефективність роботи холодильника, є відстань від летючих ножиць, оскільки вона визначає гальмівний шлях смуги. На цій ділянці смуга, що виходить із ножиць із дещо більшою швидкістю, ніж швидкість прокатки, повинна сповільнитися до мінімуму перед скиданням на холодильник. Якщо гальмівна відстань занадто мала, смуга не встигає знизити швидкість, ударяється об упор приймального рольганга і може заплутатися. Для подовження гальмівного шляху на діючих станах збільшують кількість скидальних клапанів за ножицями. На безперервних станах типу 250 ця відстань становить 30–40 м.

На багатьох середньосортних станах використовують роликові холодильники, які складаються з довгих приводних роликів діаметром 100–120 мм, розташованих під кутом 35–40° до осі підвідного рольганга. На кінцях роликів розміщені конічні шестерні, що з'єднані з трансмісійним валом, який приводиться в рух електродвигуном через редуктор. Під час охолодження смуга одночасно рухається уздовж і поперек холодильника — від підвідного рольганга до відвідного.

Основною перевагою роликових холодильників є простота конструкції — відсутні складні механізми крокуючого типу, що спрощує фундаментні роботи. Крім того, завдяки постійному оновленню контактної поверхні між смугою та роликами запобігається місцевому переохолодженню металу, що особливо важливо для легованих сталей.

Тривалість охолодження регулюється зміною швидкості обертання роликів. Ширина таких холодильників може досягати 10 м, тоді як у рейкових вона становить лише 6–8 м. Завдяки цьому площа охолодження у роликових холодильників на 30–50 % більша, а ефективність використання простору — у 5–10 разів вища.

Серед недоліків роликових холодильників — відсутність функції виправлення смуг, великі габарити та висока вартість. Тому, якщо технічні умови дозволяють, надають перевагу рейковим холодильникам, які є більш компактними та економічними.

Шлеппери застосовують для поперечного переміщення заготовок і крупносортних профілів у межах цеху — від одного рольганга до іншого, у прибиральний карман або в сусідній проліт. Вони бувають канатні та ланцюгові.

Канатний шлеппер (рис. 6.48) складається з 6–8 канатів, натягнутих між приводними барабанами 1 і натяжними блоками 2. На канатах закріплені шлепперні візки 3 з упорними пальцями 4, розташованими в один ряд.

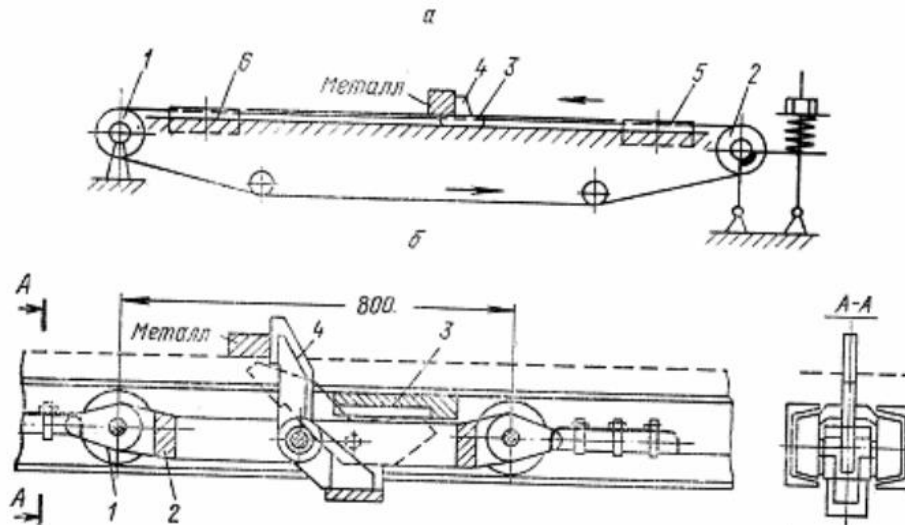


Рисунок 6.48 – Канатний шлеппер: а - загальний вигляд: 1 - приводний барабан; 2 - натяжний блок; 3 - візок; 4 - упорний палець; 5,6 - рольганги; б - конструкція візка: 1 - ковзанка; 2 - корпус; 3 - упор

Під час робочого ходу візків упорні пальці 4 переміщують метал від рольганга 5 до рольганга 6. При зворотному русі пальці «утоплюються» та проходять під заготівлею. Конструкція більшості шлепперних візків дозволяє піднімати упори в будь-якій точці між рольгангами, що дає можливість переміщати довільну кількість заготовок і профілів по рейковому настилу (стелажу) між канатами.

Канатні шлеппери, що працюють у безперервному реверсивному режимі зі швидкістю 1–2 м/с, відзначаються високою маневреністю. Вони дозволяють не лише транспортувати метал, а й накопичувати його на стелажі з одночасним охолодженням.

Ланцюговий шлеппер, як і канатний, використовується для транспортування металу, але завдяки більшій теплостійкості підходить для

роботи з гарячими заготовками. Однак він може працювати тільки в одному напрямку, тому вважається менш гнучким у використанні.

На рис. 6.49 зображено ланцюговий шлеппер, призначений для подачі рулонів зі складу до розмотувального пристрою стану холодної прокатки (дресирування). Транспорт складається з двох безкінечних ланцюгів 1 із візками 2, на які краном укладають рулони 3. Привід здійснюється за допомогою зірочок 4, що обертаються від електродвигуна через редуктор. Опорні візки переміщуються на катках 5, змонтованих на підшипниках кочення, і з'єднані шарнірно з ланцюгами. На горизонтальній ділянці катки рухаються по напрямних балках 6, які спираються на поперечні балки 7, встановлені на фундаменті. Черговий рулон подається на візок 8, який за допомогою гідравлічного підйомного столу вирівнює його по осі розмотувача.

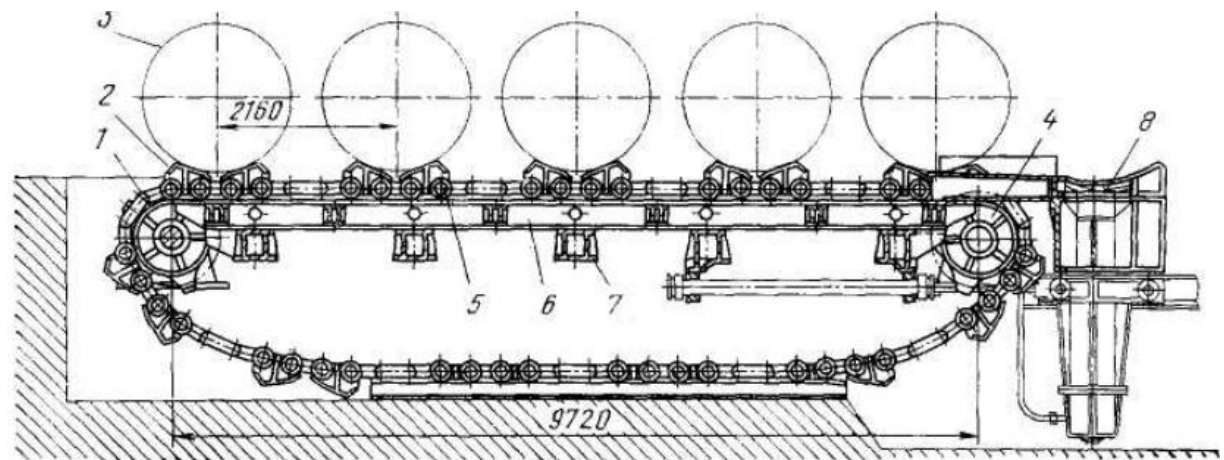


Рисунок 6.49 – Ланцюговий шлеппер: 1 - ланцюг; 2 - візки; 3 - рулони; 4 - провідні зірочки; 5 - ковзанки; 6 - напрямні балки; 7 - поперечні балки; 8- візок

У деяких випадках шлеппери виконують додаткову функцію охолодження металу, тоді їх називають шлепперними холодильниками.

Маніпулятори та кантувачі. Маніпулятори призначені для пересування металу по роликам рольгангу паралельно з метою подальшого правильного спрямування металу у валки. Маніпулятори застосовують на обтискних заготівельних та товстолистових станах при прокатці зливків і крупно габаритних заготовок. Кантувачі служать для повороту смуги щодо повздовжньої осі на  $90^\circ$  перед задаванням

наступного калібру для забезпечення рівномірного обтиску металу по всьому перерізу. На обтискних станах маніпулятори встановлюють з передньої і задньої сторін робочої кліті.

У лініях обробки прокату використовують кантувачі та маніпулятори різного типу залежно від їх призначення (для кантування товстих листів, рулонів, рейок тощо).

На рис. 6.50 показаний маніпулятор реверсивної кліті стану 2800.

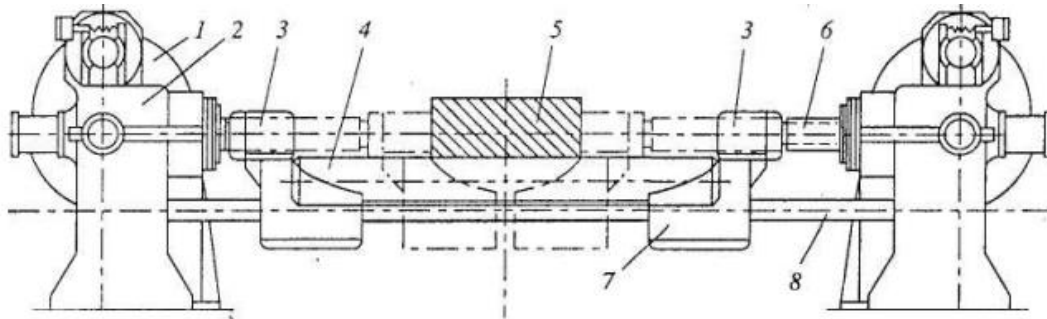


Рисунок 6.50 – Маніпулятор стану 2800: 1 - двигун; 2 - черв'ячний редуктор; 3 - лінійки; 4 - рольганг; 5 - сляб; 6 - гвинти; 7 - повзуни лінійок; 8 -напрямні штанги

Пересування слябу 5 вздовж рольгангу 4 здійснюється двигуном 1 черв'ячними редукторами 2, гвинтами 6, що пересувають лінійки 3. Паралельність руху лінійок забезпечують повзуни лінійок 7, що центруються на напрямних штангах 8.

На блюмінгах та слябінгах застосовують кантувачі гакового типу (рис. 6.51).

Кантування злитків масою до 21т здійснюється гаком 1, вал якого 2 повертається кривошипно-шатунним механізмом 3, наведеним від електродвигун ялина 4 постійного струму потужністю 200 кВт (25 об/хв) при допомоги довгого телескопічного шпинделя 5 с шарнірами на підшипниках кочення. Кантувач і шатунно-кривошипний механізм встановлені на лінійці маніпулятора 6 і переміщуються при прокатуванні разом із нею. Електродвигун розташований на фундаменті поблизу рами рольгангу. Конструкція шпинделя на відстані між шарнірами 8000 мм дозволяє мати кут нахилу у горизонтальній площині до 23°, що забезпечує можливість незалежного пересування лінійки маніпулятора на 3300 мм вздовж бочки

роликів 7 рольгангу. Достоїнством кантувача є виняток із його приводу складного диференціального редуктора (застосовуваного раніше на інших блюмінгах).

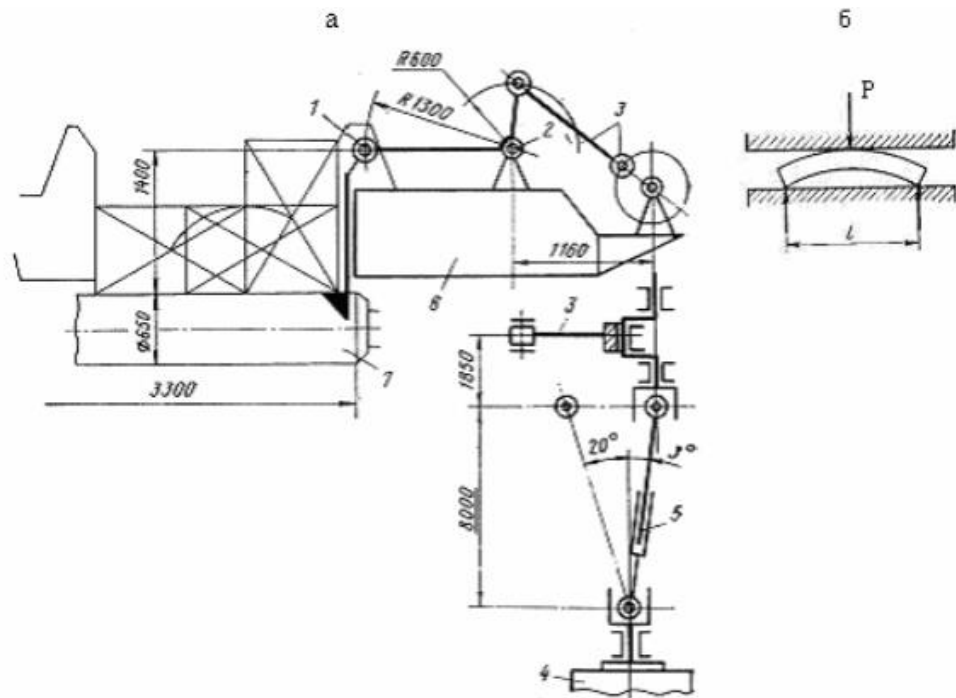


Рисунок 6.51 – Схема гакового кантувача блюмінгу 1500 (а) та схема правки блюму (сляба) маніпулятора (б): 1 - гак кантувача; 2 - вал; 3 - кривошипно-шатунний механізм; 4 - ел. двигун; 5 - телескопічний шпindel; 6 - лінійка маніпулятора; 7 - рольганг

На рис. показаний кантувач важільного типу (рис. 6.52). З моталки гарячий рулон масою до 15 т стикається на консольний важіль, укріплений на валу з двома окремими опорами. З боку однієї з опор валу передбачений кривошип, повертається на кут  $125^\circ$  шатуном, з'єднаним з колінчастим валом, що наводиться під час обертання електродвигуном потужністю 41 кВт (625 об/хв) через: редуктор ( $i=251$ ).

Опори колінчастого валу, редуктор та електродвигун встановлені на фундаменті. Між опорами приводного валу проти важеля канту знаходиться візок, що пересувається рейками за допомогою штока пневмоциліндра. Рама візка має С-подібну форму, відкрита частина якої звернена у бік проходить поряд у перпендикулярному напрямку пластинчастого ланцюгового транспортера (для рулону).

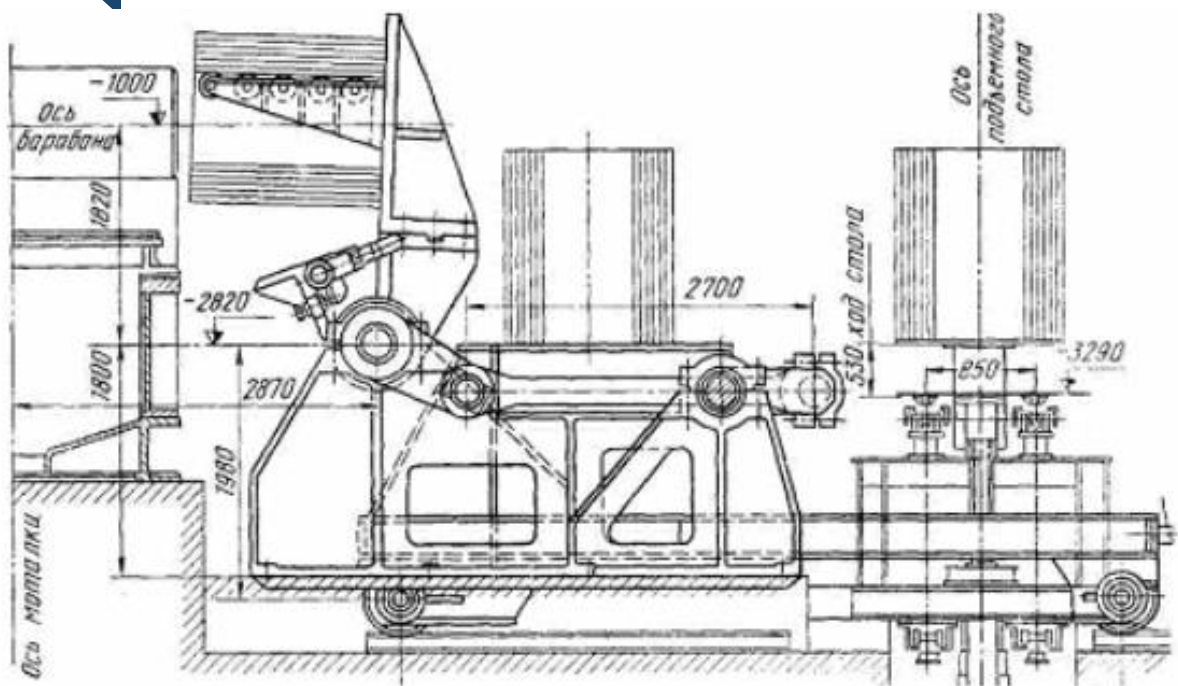


Рисунок 6.52 – Кантувач гарячих рулонів біля моталки безперервного широкосмугового стану

За допомогою кривошипно-шатунного приводу вал та важіль повертаються вправо, рулон кантується з горизонтального положення у вертикальне та укладається на верхню частину С-подібної рами візка. Потім штоком пневмоциліндра візок і рулон пересуваються праворуч. При цьому нижня подовжена частина рами проходить між верхніми та нижніми ланцюгами транспортера, а верхня частина рами розташовується вище верхні ланцюги транспортера. Гідравлічний витяг, встановлений між ланцюгами транспортера, піднімає рулон, візок повертається у вихідне положення до моталці, а рулон опускається витягом на верхню гілку транспортера. Для кантування рулону потрібні 15 с, а для пересування візка вперед 7 с. Повний цикл кантівки та установки рулону на транспортер здійснюється приблизно за 40 с.

Кантовка рулонів з вертикального положення горизонтальне (або навпаки, якщо це потрібно) здійснюється **кантувачем Г-подібного типу** (рис. 6.53).

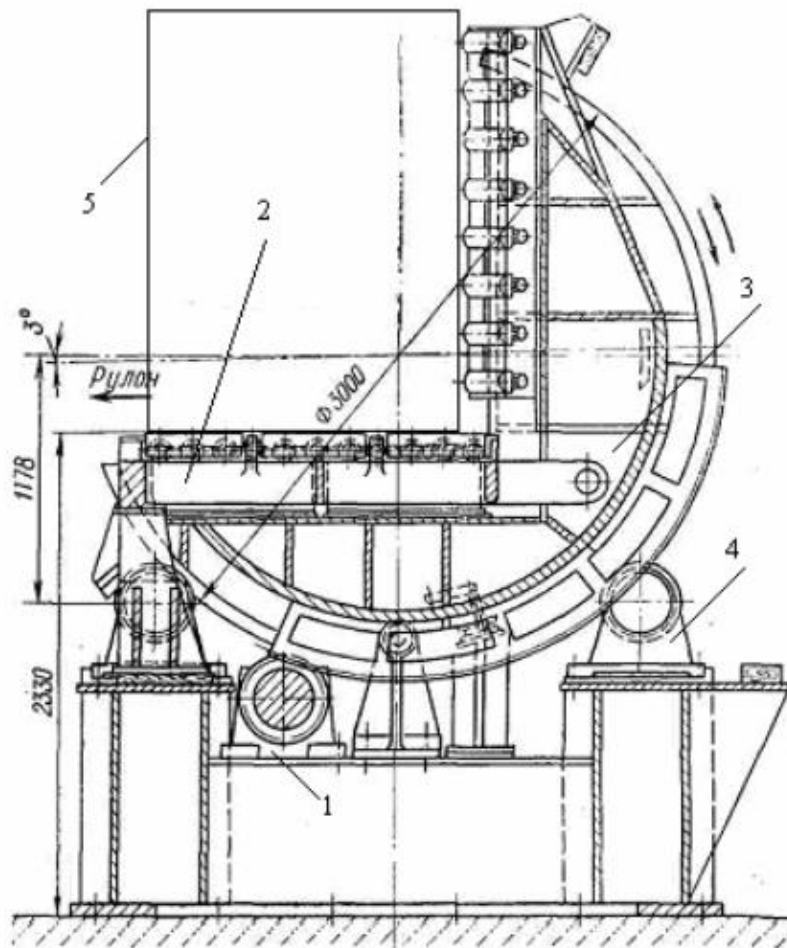


Рисунок 6.53 – Кантувач холодних рулонів: 1 - шестерня; 2 – роликовий стіл; 3 – рама; 4 –ролики; 5 – рулон

Рама 3 кантувача у формі неповного кола спирається на бічні ролики 4, знизу до рами прикріплена дугова зубчаста рейка, що зчепляється з шестернею 1, що приводиться від електродвигуна через черв'ячний редуктор.

Рулон смуги за допомогою електромагніту мостового крана укладають у вертикальне положення на горизонтальний роликовий стіл 2 рами. На початку повороту рами вправо рулон спиратиметься своїми утворюючими на два ряди похилих роликів на вертикальному секторі рами, в кінці повороту рами на  $90^\circ$  рулон виявиться скантованим і буде горизонтальним. При подальшому повороті рами на  $3-5^\circ$  рулон сповзає по похилим неодруженим роликам і переміститься на склиз або рольганг до розмивача.

Підйомно-похитні столи. Їх застосовують на листових, сортових тривалкових і тонколистових двовалкової станах лінійного типу. На листових тривалкових станах підйомно-похитні столи встановлюють з обох боків робочої кліті.

### 6.23.2 Обробна група

Ножиці з паралельними ножами. Для поділу готового прокату на мірні довжини та обрізки його кінців застосовують ножиці для гарячого й холодного різання з паралельним розташуванням ножів (рис. 6.54, а). Такі ножиці можуть мати верхній або нижній різ.

Ножиці з верхнім різом відрізняються простотою конструкції: нижній ніж залишається нерухомим, а верхній, закріплений у супорті, рухається вниз за допомогою гідравлічного чи кривошипного приводу, розрізаючи метал. Щоб уникнути зміщення або повороту смуги під час різання, передбачено спеціальний притиск, який опускається разом із верхнім ножем.

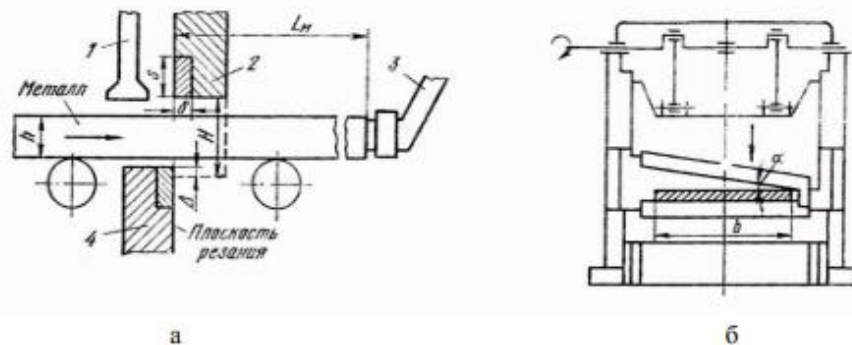


Рисунок 6.54 – Схема різання металу на ножицях з паралельними (а) і похилими (б) ножами: 1 – притискач, 2 – верхній супорт з ножем, 3 – рухомий упор, 4 – нижній супорт з ножем

Більш широке застосування отримали ножиці з нижнім різом. Під час їх роботи метал спочатку проходить між відкритими ножами по рольгангу, при цьому нижній ніж розташований нижче рівня роликів і не заважає руху смуги. Потім метал зупиняється пересувним упором, після чого верхній супорт опускається до зіткнення з прокатом. Далі верхній супорт зупиняється, а нижній починає рух, виконуючи різання металу.



Ножиці з похилими ножами (гільйотинні). Цей тип ножиць (рис. 6.54, б) має відкриту або закриту конструкцію. Відкриті ножиці оснащені короткими ножами та однією станіною з боковим прорізом, через який подається метал. Такі ножиці використовують для холодного різання штаби та сортового прокату. Форма ножів при цьому відповідає профілю розрізаного металу.

Летючі ножиці. Летючі ножиці призначені для різання металу під час його руху з великою швидкістю. У прокатних цехах застосовують кілька типів таких ножиць: барабанні, важільно-кривошипні, планетарні, маятникові тощо.

- Барабанні ножиці — найпоширеніший тип. Їх використовують для різання широких смуг товщиною до 30 мм, а також для холодного різання смуг до 3 мм і гарячого різання дрібних профілів. На верхньому й нижньому барабанах закріплені ножі, які при обертанні зустрічаються та виконують різ. Такі ножиці прості, надійні й забезпечують різання металу при швидкості понад 15 м/с.

- Важільно-кривошипні ножиці застосовують для розрізання товстих смуг. Їхні ножі рухаються по складній еліптичній траєкторії, яка під час різу збігається з напрямом руху металу, що забезпечує плавний і точний різ.

- Планетарні ножиці використовують для різання заготовок і сортових профілів перерізом 80×80, 120×120 мм або плоских заготовок 100×120–100×150 мм, а також круглих діаметром 100–140 мм. Вони можуть працювати у двох режимах — з пропуском різу та без пропуску. У режимі з пропуском різу кривошип обертається із зменшеною швидкістю, дозволяючи заготовці пройти між ножами без контакту, а при наступному оберті здійснюється різання на подвійну довжину.

Дискові ножиці. Цей тип ножиць використовують для обрізання кінців смуги та поздовжнього різання широких смуг на кілька вузьких.

Дискові пили. Для розрізання профільного прокату з метою підвищення якості різу застосовують дискові пили, які поділяють на два типи:

- для гарячого різання — із зубчастими дисками;
- для холодного різання — із гладкими дисками, де процес різання відбувається за рахунок розплавлення металу від тертя швидкообертового диска.



Моталки є одним із найважливіших вузлів безперервних широкосмугових станів, оскільки від стабільності їх роботи залежить ефективність усього прокатного процесу та якість готової металевої смуги. На сучасних станах швидкість прокатки сягає 20–25 м/с, а маса рулону — 30–50 т.

Конструкція моталок повинна відповідати ряду технологічних і експлуатаційних вимог:

1. Формування рулону. Смуга має намотуватися щільно, без телескопічності витків. Для цього процес змотування здійснюють при натягу смуги та за допомогою спеціальних напрямних пристроїв. Нещільний рулон сприяє окисленню внутрішніх витків, утворенню окалини та порушенню мікроструктури металу. Телескопічність витків призводить до пошкодження крайок під час транспортування та зберігання.

2. Уникнення дефектів. Під час захоплення та змотування смуги не повинно виникати петель і складок перед тягнучими роликками.

3. Надійність конструкції. Моталка повинна бути міцною, зносостійкою та працювати безвідмовно при високих температурах (500–700 °С), в умовах охолодження водою, дії окалини та динамічних навантажень.

4. Зручність обслуговування. Ремонт моталки має виконуватися у мінімальні терміни.

5. Збереження рулону. Приймальні пристрої повинні підтримувати правильну форму рулону без деформацій.

Для отримання щільного рулону осі всіх роликків і барабана мають бути строго паралельними, а швидкість обертання тягнучих роликків, барабана та формуючих роликків — на 10–20% вищою, ніж швидкість руху смуги. Зазор між верхніми роликками точно регулюється, що знижує динамічні навантаження.

Існують два основні способи змотування гарячекатаної смуги:

1. З натягом барабаном моталки (без притискання роликками, рис. 6.55).

2. Притискними формуючими роликками (без натягу барабаном).

Практика показує, що перший спосіб забезпечує кращу рівномірність рулону та знижує динамічні навантаження. Для тонких смуг (1–4 мм) після утворення перших 2–3 витків формуючі роликки відводяться, і подальше змотування відбувається лише за рахунок натягу барабана. Для товстих

смуг (5–16 мм) застосовують 2–3 пари притискних роликів, які залишаються притиснутими протягом усього процесу намотування.

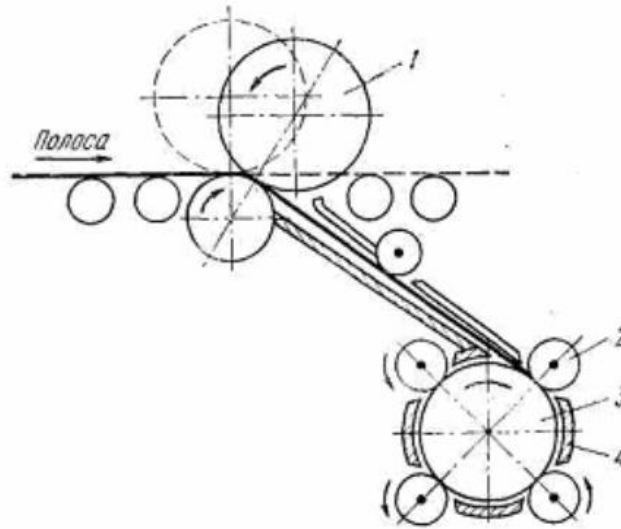


Рисунок 6.55 – Схеми барабаних моталок для змотування гарячої смуги: 1 – подають ролики; 2 - формують ролики; 3 - барабан; 4 - проводки

На широкосмугових станах зазвичай встановлюють дві групи моталок:

- для смуг товщиною 1,2–4 мм,
- для смуг 4–16 мм, між якими витримують відстань 30–50 м для охолодження металу. Оптимальним вважається комплект із трьох моталок: дві працюють безперервно, третя — резервна для ремонту.

Для полегшення захоплення переднього кінця смуги верхній тягнучий ролик роблять більшого діаметра та встановлюють під кутом 15–20° у напрямку руху. Щоб уникнути прослизання та появи рисок, верхній і нижній ролики мають окремі електроприводи з автоматичним регулюванням швидкості.

Для запобігання телескопічності перед моталкою встановлюють направляючі лінійки з електро- та пневмоприводом, які автоматично центрують смугу під час намотування.

Консольний барабан виконується з підвищеною жорсткістю, щоб уникнути прогину від маси рулону та натягу. Для зняття готових рулонів використовують візки-зйомники, які не пошкоджують краї металу.



Подаючі ролики діаметром 900 і 400 мм приводяться в рух від електродвигунів і розташовані під кутом до рольгангу. Чотири формуючі ролики мають індивідуальний привід від електродвигунів постійного струму потужністю 29 кВт і переміщуються попарно за допомогою двох (або чотирьох — для смуг товщиною 4–16 мм) пневмоциліндрів діаметром 500 мм при тиску повітря 0,4–0,6 МПа. Ці циліндри обертають два вали, пов'язані системою шарнірних важелів. Усі привідні й переміщувальні механізми роликів змонтовані в станині, яку під час ремонту можна висунути убік по нижніх напрямних на плитах за допомогою гідроциліндра з ходом 4500 мм.

Центральний барабан діаметром 850 мм і довжиною 2000 мм приводиться в дію електродвигуном потужністю 1150 кВт (220/440 об/хв). Завдяки натягу смуги, створюваному барабаном після формування перших 2–3 витків, а також дії формуючих роликів, забезпечується висока щільність намотування рулону. Після завершення змотування діаметр барабана зменшується, і рулон у поздовжньому напрямку знімається візком-зйомником, після чого його повертають у вертикальне положення та подають на транспортер.

Барабанні моталки використовуються для змотування довгих смуг і стрічки при холодній прокатці (рис. 6.57). Вони не лише формують рулон, а й забезпечують необхідний натяг смуги, що є критично важливим для стабільного процесу прокатки, отримання щільного рулону й точного напрямлення смуги під час входу та виходу з валків.

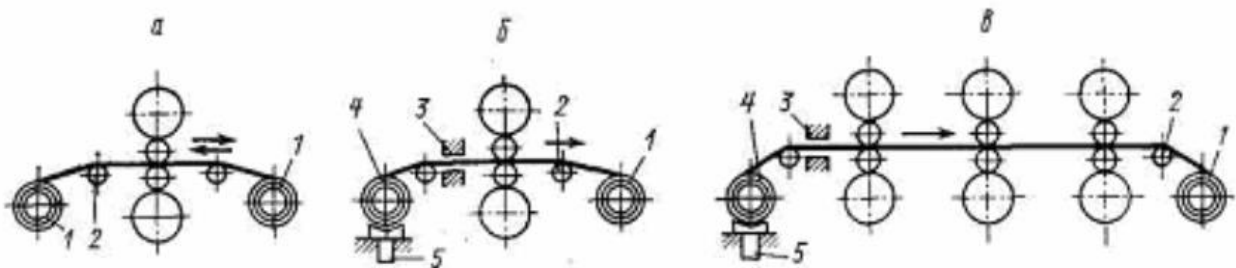


Рисунок 6.57 – Схема розташування барабанних моталок на станах холодної прокатки смуги: а - реверсивному; б – нереверсивному одноклітинний; в - безперервному багатоклітинному; 1 - моталки; 2 - напрямні холости ролики; 3 - притискний стіл з проводками; 4 - розмотувач; 5 - гідроциліндр



Такі моталки застосовуються як на реверсивних, так і на неревверсивних станах. На реверсивних одноклітьових станах моталки розташовують з обох боків кліті. Процес холодної прокатки відбувається так: гарячекатана смуга у вигляді рулону подається до стану, встановлюється на розмотувач, після чого або одразу подається у валки, або перемотується на моталку для ущільнення бунту й створення більшого заднього натягу. Початок смуги пропускають через валки та моталку без обтиснення.

Після захоплення кінця смуги другою моталкою (що стоїть за станом) починається реверсивна прокатка — смуга переміщується то в один, то в інший бік. При цьому моталки по черзі змінюють свою функцію: ведуча стає веденою, а ведена — ведучою. Прокатка здійснюється в кілька проходів залежно від товщини, ступеня обтиснення та наклепу металу. Після завершення процесу рулон з однієї моталки знімають і направляють на відпал для усунення наклепу. Недолік такого способу полягає в тому, що передні та задні кінці смуги залишаються непрокатаними, тому для зменшення відходів використовують рулони великої маси (до 45 т).

На неревверсивних одно- та багатоклітьових безперервних станах зазвичай встановлюють лише одну передню моталку, а з боку подачі розміщують розмотувачі та проводкові столи, які створюють невеликий задній натяг. На сучасних трьох- і шести-клітьових станах маса рулонів сягає 15–60 т, а швидкість прокатки — 15–45 м/с.

Конструктивно моталки виконуються консольного типу, що дає можливість легко знімати рулон із барабана. Для підвищення жорсткості при намотуванні з великим натягом застосовують додаткову опору, яку підводять до вільного кінця вала перед початком намотування й відводять під час зняття рулону.

Оскільки процес прокатки здійснюється з постійною швидкістю, привід моталки повинен забезпечувати сталу лінійну швидкість змотування або розмотування при зміні діаметра рулону та підтримувати незмінний натяг смуги. Це вимагає безперервного регулювання кутової швидкості — на одній моталці вона збільшується, на іншій зменшується. Такі умови реалізуються завдяки індивідуальним електроприводам і автоматичним системам регулювання.



Під час роботи задня моталка створює натяг і гальмівний момент; її електродвигун у цей момент функціонує як генератор, передаючи енергію в мережу. Це є однією з переваг окремого електроприводу моталок.

Для розмотування рулонів під час холодної прокатки, різання, очищення чи відпалу використовуються розмотувачі різних конструкцій, призначені для забезпечення стабільного подавання смуги у прокатні або технологічні агрегати.

Моталки з нерухомим або обертовим бунтом використовують для змотування в гарячі бунти дроту (катанки) та дрібносоротної сталі діаметром 6–25 мм, а також обручки й вузької стрічки завширшки 3–10 мм. Моталки з нерухомим бунтом і осьовою подачею металу застосовують лише для круглих профілів, оскільки скручування металу під час змотування не впливає на їхню форму.

На рис. 6.58 показано дротяну моталку з нерухомим бунтом, встановлену на безперервному дротяному стані, призначену для змотування дроту діаметром 5–10 мм із масою бунту 200–500 кг. Пустотілий вал моталки 4 обертається через зубчасту передачу, а на його кінці закріплено конус 2 (іноді замінюють циліндричною передачею). Дріт із останньої кліті надходить через трубку 3 усередині валу 4 до конуса 2, який укладає витки навколо вертикальних пальців 1, формуючи горизонтальний бунт на плиті 5. Після завершення змотування пальці опускаються важільним механізмом, і готовий бунт переміщується на транспортер. Перевага цієї конструкції полягає в тому, що бунт залишається нерухомим, а змотування може здійснюватися за будь-якої швидкості подачі дроту (на сучасних станах — 25–50 м/с). Крім того, скидання готового бунту відбувається без зупинки процесу.

На сучасних безперервних і напівбезперервних станах прокатка дрібносортних профілів відбувається з нижчою швидкістю (15–30 м/с), ніж прокатка катанки (>50 м/с). Тому для змотування таких профілів (кола, квадрата) застосовують моталки з обертовим бунтом і тангенціальною подачею металу. Вони забезпечують змотування без скручування, що дозволяє використовувати їх не лише для дроту, а й для профілів різного перерізу.

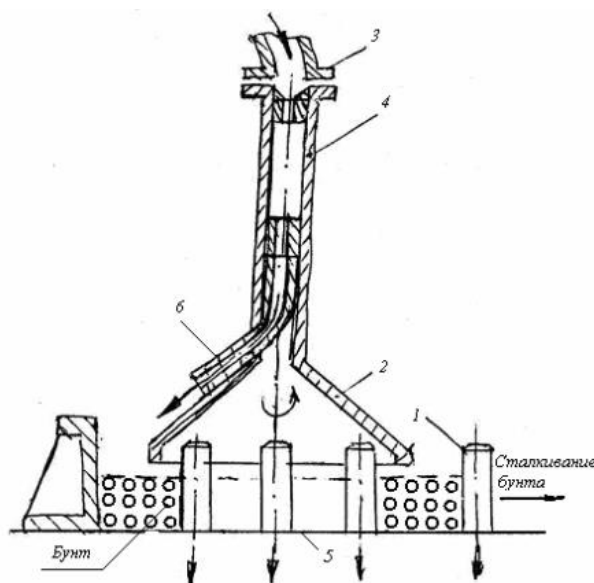


Рисунок 6.58 – Дротова моталка з нерухомим бунтом: 1 – пальці; 2 – конус; 3 – приймальна трубка; 4 – порожнистий вал; 5 – плита; 6 – проводка

У моталці з тангенційною подачею (рис. 6.59), розташованій під підлогою цеху, метал подається через трубку 1 і намотується в кільцевому просторі між двома рядами штифтів 2, закріплених на обертовому грибоподібному шпинделі 3. Після завершення змотування трубка 1 відводиться вгору, а готовий бунт пневмоциліндром 4 піднімається на рівень настилу 5 та штовхачем 6 переміщується на проміжний транспортер, який подає його до канатно-гакового холодильника. У цій конструкції видалення бунту складніше, ніж у підлогових моталок із викидом униз (іноді безпосередньо на гак холодильника).

Сучасні моталки з тангенціальною та осьовою подачею оснащуються окремими приводами з електричною синхронізацією швидкості з останньою кліткою стану. Через великі обертові маси (бунт, барабан тощо) вони використовуються при швидкостях до 10 м/с, проте їхньою перевагою є можливість змотування не лише дроту й круглої сталі, а й дрібних профілів квадратного перерізу.

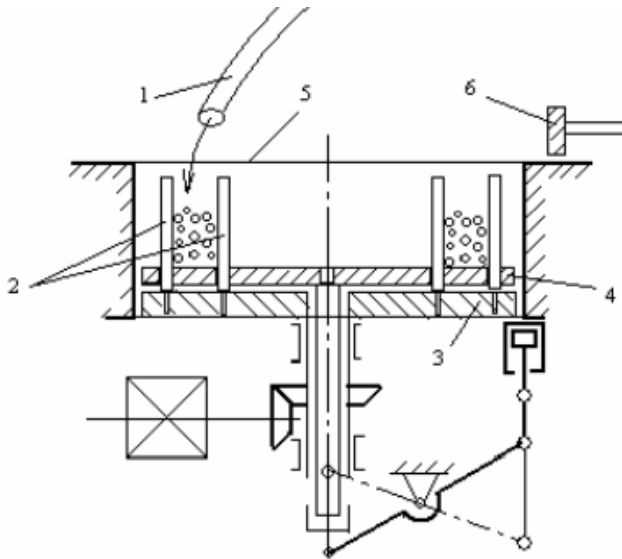


Рисунок 6.59 – Дрібносортна моталка з тангенсальною подачею: 1 - напрямна трубка; 2 - штифти; 3 - шпindelь; 4 - виштовхувач; 5 - рівень настилу; 6 - зіштовхувач

Для розмотування рулонів застосовують розмотувачі з клиновим механізмом регулювання діаметра барабана (рис. 6.60). Привід валу барабана здійснюється від електродвигуна через двоступінчастий редуктор, розміщений на корпусі розмотувача. Для підвищення стійкості рулону під час розмотування внутрішніх витків із великим натягом використовується клиновий барабан, що складається з чотирьох сегментів. Такий розмотувач призначений для роботи з рулонами масою до 45 т при швидкості до 7 м/с, ширині смуги до 1500 мм, товщині до 2 мм і натягу до 25 кН.

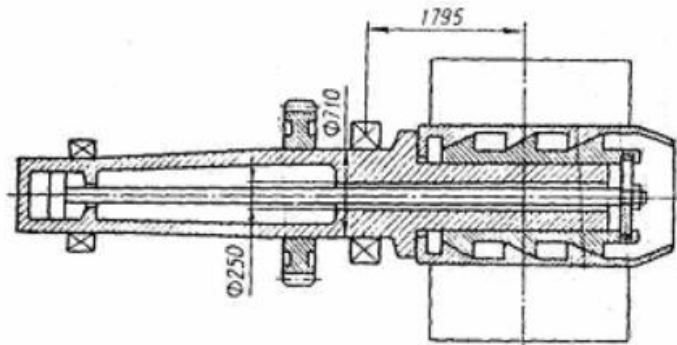


Рисунок 6.60 – Барабан розмотувач рулонів з клиновим механізмом зміни діаметра барабана

Відгиначі. Після встановлення рулону в розмотувач необхідно відігнути його передній край і подати смугу у валки стана або в тягучі ролики для подальшої обробки. Цю операцію виконують спеціальні пристрої — відгиначі, які бувають двох типів: електромагнітні та скребкові.

Електромагнітний відгинач (рис. 6.61) складається з магнітного елемента 4, змонтованого на важелях 2 і 3, з'єднаних розпірними трубами 1. Система повертається навколо осі 11 за допомогою важелів, пов'язаних із гідроциліндрами 12, закріпленими на траверсах 13. Під час роботи електромагніт опускається до рулону, захоплює край смуги, відгинає його, а потім піднімається. Після цього нижні ролики 9 і 7 піднімаються кривошипно-шатунним механізмом 8 і притискають смугу до верхнього приводного ролика 10, що обертається від електродвигуна потужністю 15 кВт. При цьому смуга розмотується, проходить через три правильні ролики, які виправляють односторонню кривизну, і подається до стана. Основні параметри: швидкість розмотування — 0,5 м/с, тиск на верхній ролик — 100 кН, маса рулону — до 15 т.

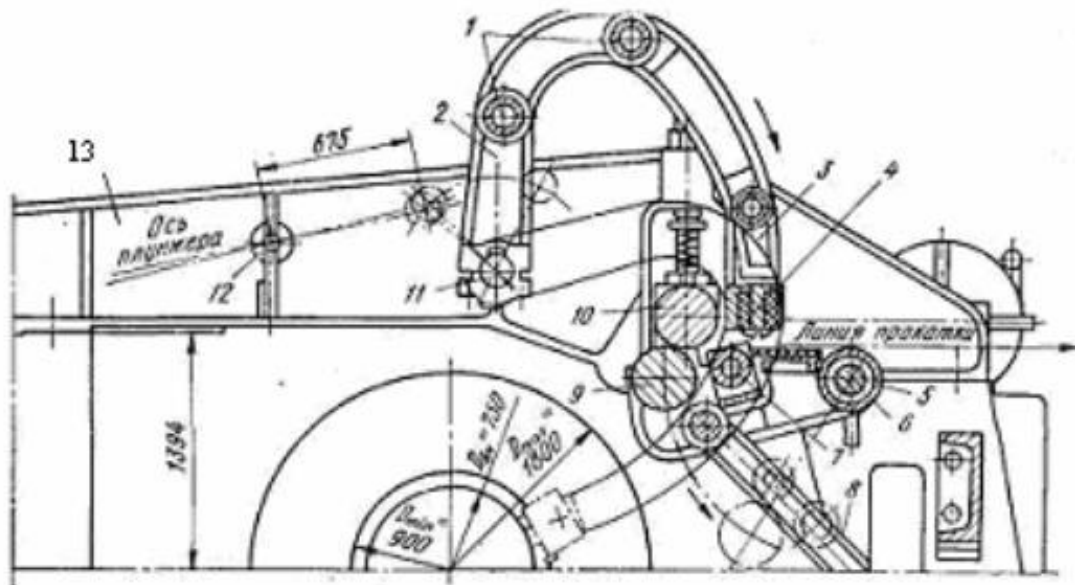


Рисунок 6.61 – Електромагнітний відгинач кінця смуги на рулоні:  
 1 – розпірні труби; 2,3 – бічні важелі; 4-електромагніт; 5 – напрямний ролик;  
 6 – вісь; 7,9 – нижні ролики; 8 – кривошипно – шатунний механізм;  
 10 - верхній приводний ролик; 11 - вісь; 12 – цапфа; 13 - траверса

Електромагнітний відгинач придатний лише для магнітних матеріалів, зокрема вуглецевої сталі, і не може використовуватись для нержавіючих сталей або кольорових сплавів.

Скребковий відгинач є більш універсальним. На рис. 6.62 показано його застосування в розмотувачі дресирувального чотиривалкового стана 2500. Скребок 1, виготовлений зі зносостійкої легованої сталі, закріплений на головці 2, яка шарнірно встановлена на кінці важільної рами 6. За допомогою паралелограмного механізму 4, що приводиться в дію гідроциліндром 5, скребок притискається до рулону і, при його обертанні, відгинає край смуги. Потім нижній ролик 3 притискає смугу до верхнього приводного ролика 7, який подає її до подальших агрегатів обробки металу. Перевагами скребкового відгинача є простота конструкції, надійність та можливість використання для обробки немагнітних матеріалів, таких як дюралюміній або інші кольорові сплави.

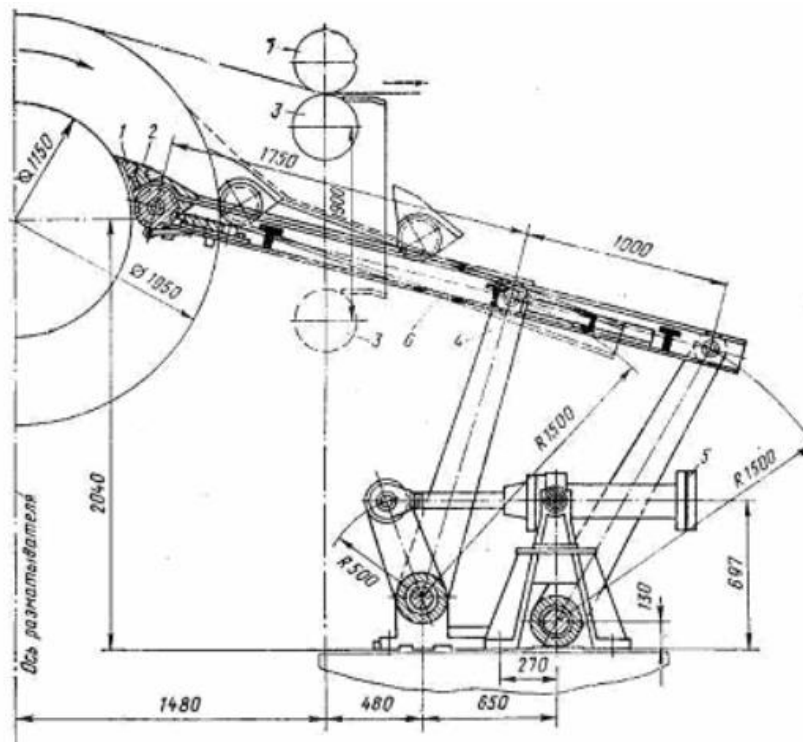



Рисунок 6.62 – Скребковий відгинач кінця смуги: 1-скребок; 2 – головка; 3 – натискний рухомий ролик; 4 – важільно-паралогорамний механізм; 5 – гідроциліндр; 6 – важільна рама; 7 – приводний ролик



### 6.23.3 Поворотні, підйомні та підйомно-поворотні механізми та пристрої

На блюмінгах та слябінгах зливки з відділення нагрівальних колодязів подаються злитковозом на приймальний рольганг у деяких випадках широким кінцем вперед (зливки спокійної сталі). Для зменшення відходів дефектного металу на ножицях за блюмінгом (слябінгом) ці зливки прокочують вузьким кінцем уперед, щоб прибуткова частина їх, розташована на широкому кінці, була позаду прокатоного блюму та слябу.

На рис. 6.63 показаний загальний вид **поворотного столу** для злиwkів масою до 20 т. Стіл встановлений безпосередньо за прийомним рольгангом. Поворотний стіл для злиwkів у лінії приймального рольганга блюмінгу та призначений для повороту зливка на 180° горизонтальною площиною з метою наступного його напрямки до стану вузьким кінцем уперед. Рама поворотного столу спирається на чотири ковзанки діаметром 470 мм та центрована на литий сталевий втулці, встановленою на фундаментній плити. Знизу до рами прикріплений зубчастий вінець, що зчіпається з конічною шестернею. Привід повороту столу здійснюється від електродвигуна змінного струму потужністю 16 кВт (720 об/хв) через двоступінчастий редуктор ( $i = 29$ ) та конічну передачу ( $i=4$ ); стіл повертається на 180° за 48,5с На столі змонтовано чотири ролика рольганга діаметром 600 мм, призначеного для пієму зливка та передачі його (після повороту на 180 °) на підводить рольганг до стану. Ролики наводяться від електродвигуна змінного струму потужністю 45 кВт (514 об/хв) через черв'ячний редуктор і циліндричні шестерні.

На рис. 6.64 показано підйомно-поворотний пристрій для слябів, встановлене перед чорною кліткою стану 2800. При прокатуванні без розширення верхня хрестовина 1 розташована нижче за рівень роликів 2 і не заважає руху слябів по рольгангу. При необхідності розширення сляб зупиняється на рольгангу так, що його середина буде над хрестовиною; потім вертикальний вал 3 з хрестовиною піднімається на 300 мм, піднімає сляб, повертає його у горизонтальній площині на 90° і знову опускає на ролики рольгангу.

Привід підйому та повороту хрестовини здійснюється від окремих електродвигунів, встановлених на загальній фундаментній рамі, через черв'якові та циліндричні шестерні змонтовані в одному корпусі.

Застосовують також механізми аналогічного призначення з окремим приводом підйому та повороту хрестовини від двох пневматичних циліндрів, один з яких переміщує зубчасту рейку, з'єднану з зубчастим сектором, що сидить на вертикальному валу.

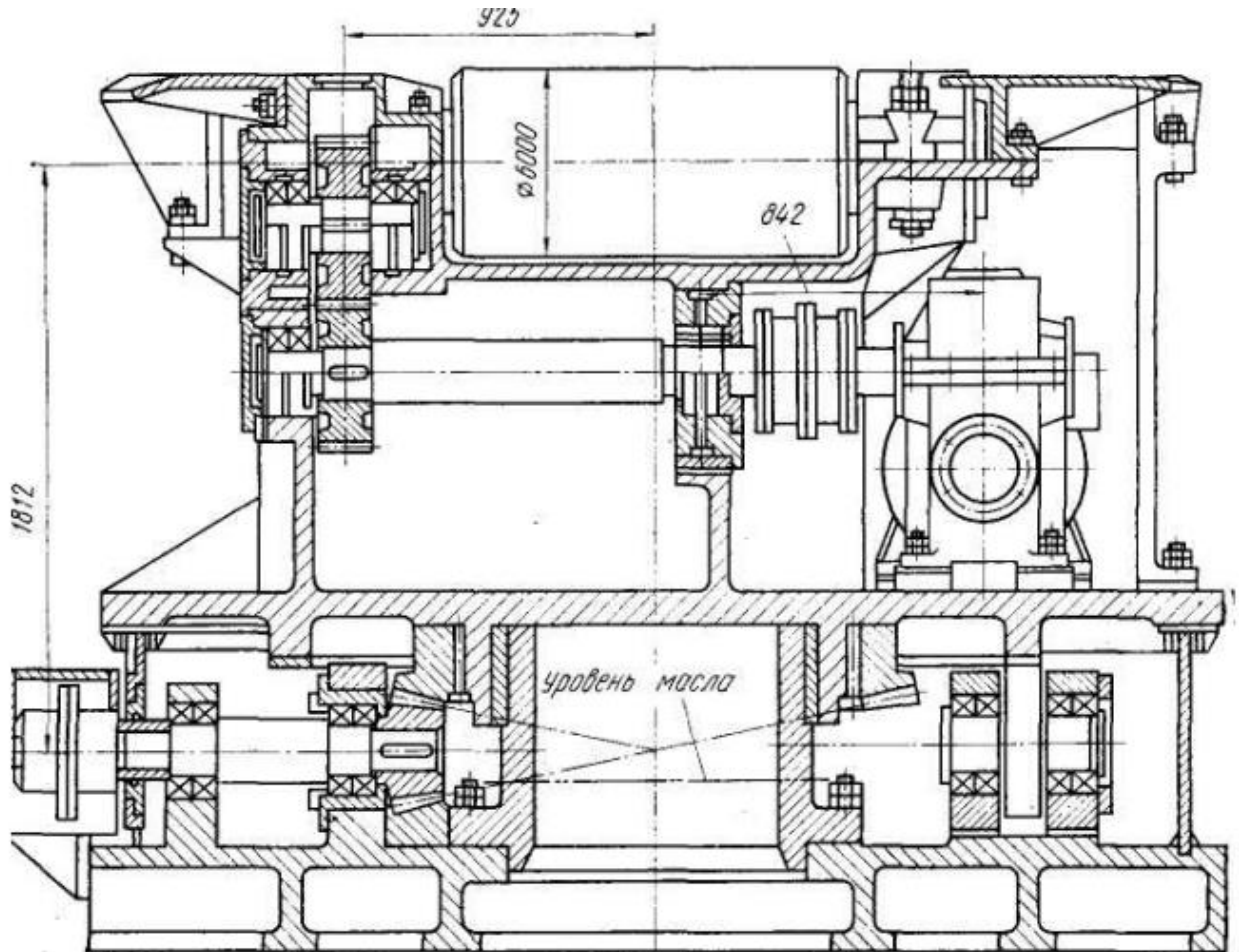


Рисунок 6.63 – Приймальний стіл для злитків у лінії робочого рольгангу алюмінію

На рис. 6.65 представлений загальний вигляд підйомно-поворотного столу для рулонів гарячекатаної смуги.

Стіл встановлений за моталками безперервного широкосмугового стану 1700, в лінії розгалуження відвідного конвеєра для гарячих рулонів, і призначений для підйому, повороту та передачі рулонів на іншу гілку конвеєра, розташовану під кутом  $90^\circ$  до підвідника конвеєру. Положення рулонів вертикальне. Підйом верхньої хрестовини столу та рулону

здійснюється плунжером гідравлічного циліндра (у центрі). Поворот хрестовини та рулону здійснюється від електродвигуна через окремий редуктор і зубчасті шестерні, розташовані в корпус столу; ведена шестерня насаджена на маточину, що становить одне ціле з гідравлічним циліндром. Корпус столу зварений з листів, опори циліндра та плунжера литі, сталеві.

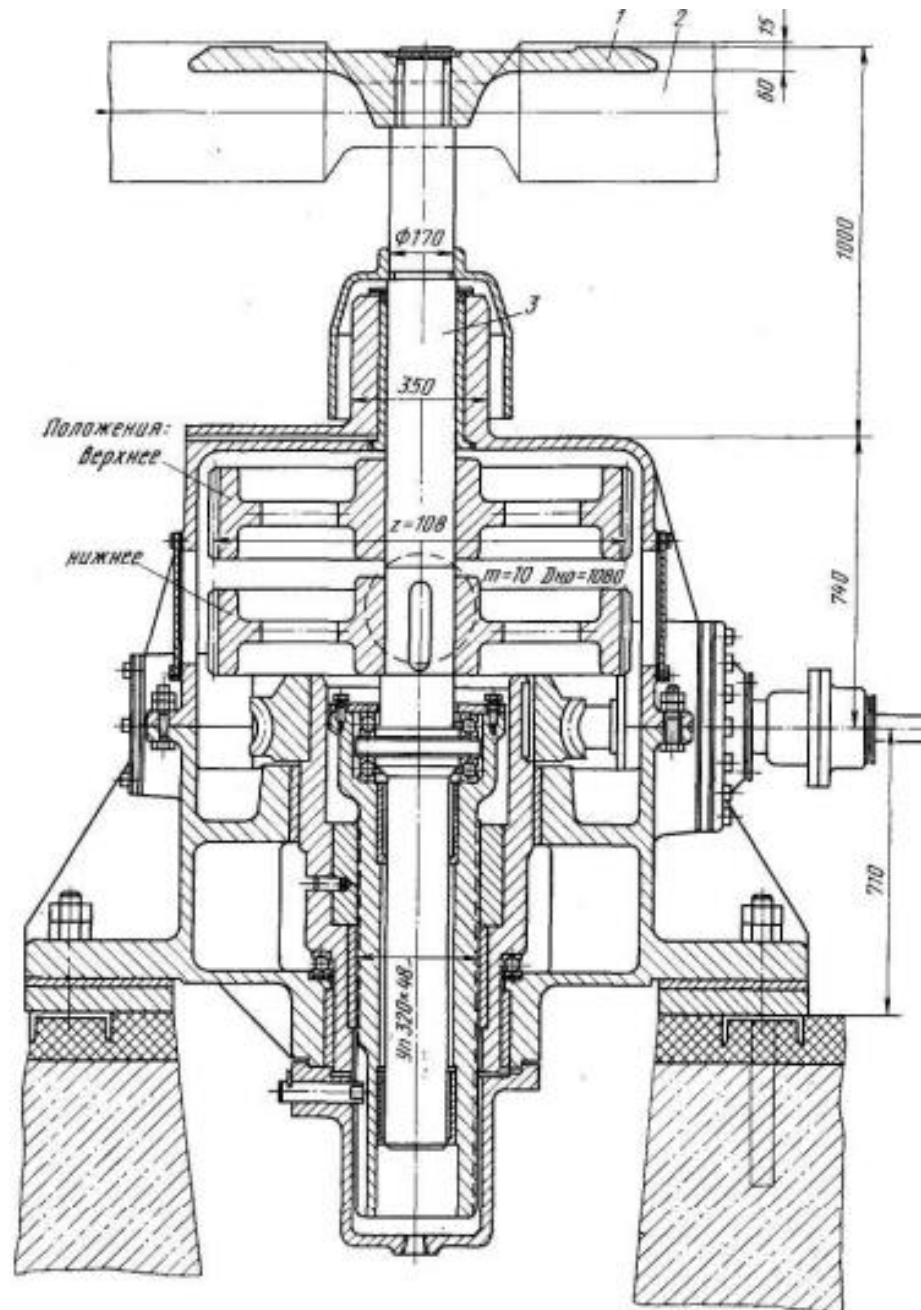


Рисунок 6.64 – Підйомно-поворотний пристрій у лінії товстолистового стану: 1-хрестовина; 2-ролики; 3-вертикальний вал

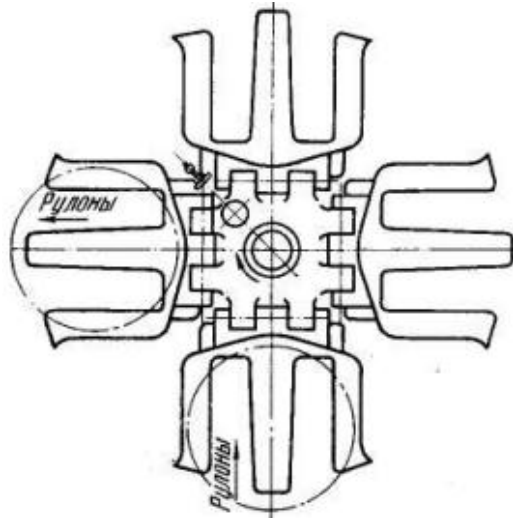


Рисунок 6.65 – Підйомно-поворотний стіл у лінії транспортера рулонів

Для подачі заготовок із завантажувальних бічних ґрат (стелажів) на пічні рольганги, завантаження металу в піч, просування його по поду печі та видачі з печі, для подачі металу на холодильники та штабелюючі столи і т. д. застосовують штовхачі (рис. 6.66), виштовхувачі та зіштовхувачі (рис. 6.67) різної конструкції.

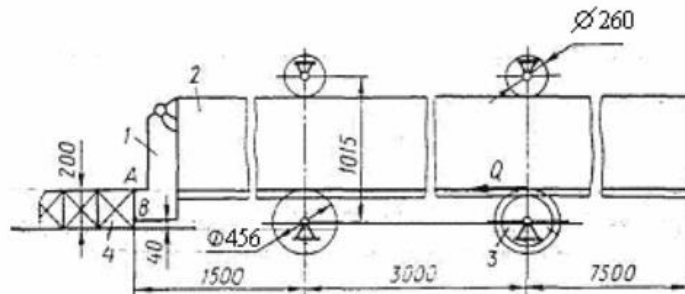


Рисунок 6.66 – Здвоєний пічний рейковий штовхач: 1 - упор штанги; 2 - штанга; 3 - приводна шестерня; 4 – сляб

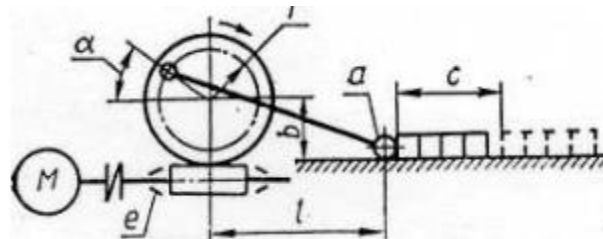


Рисунок 6.67 – Зіштовхувач заготовок

Для зупинки смуг при прокатці з метою різання, формування пачок, визначення маси, сортування, контролю та ін. застосовують упори самої різноманітної конструкції. На рис. 6.68 наведено деякі з них.

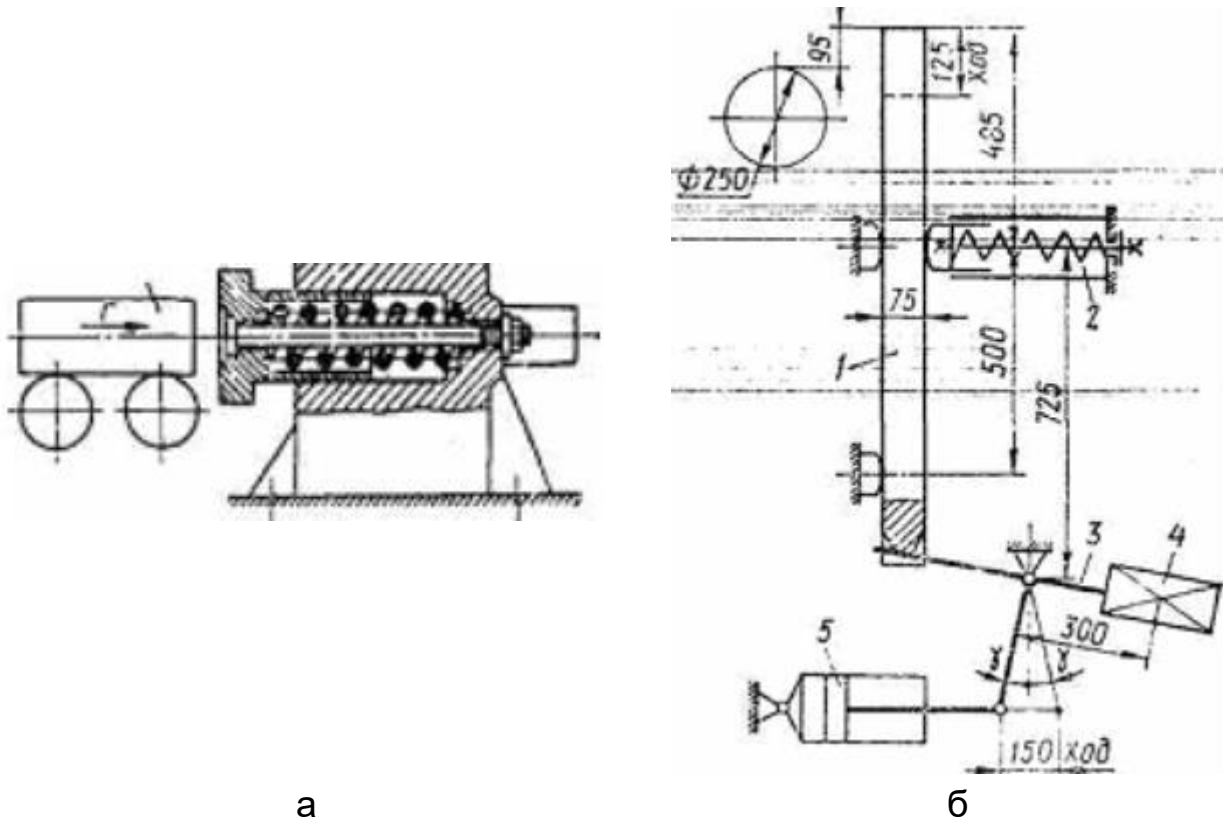


Рисунок 6.67 – Упори: стаціонарний пружинний (а) та упор, що опускається (б): 1 – плита; 2 – амортизатор; 3 – важіль; 4 – вантаж; 5 – циліндр

### Питання до самоконтролю:

1. З якою метою здійснюється охолодження доменної печі?
2. Які частини доменної печі підлягають найінтенсивнішому охолодженню?
3. Як охолодження впливає на тривалість служби футеровки?
4. Які основні типи систем охолодження застосовуються у доменних печах?
5. Чим зумовлена необхідність регулювання температурного режиму футеровки?



6. Які існують основні способи охолодження доменної печі?
7. У чому полягає різниця між водяним та повітряним охолодженням?
8. Як забезпечується стабільність температури у системах з водяним охолодженням?
9. Які переваги має комбінована система охолодження?
10. У яких випадках застосовують непряме охолодження поверхонь печі?
11. Яке призначення мають холодильники у конструкції доменної печі?
12. Які типи холодильників застосовуються (мідні, чавунні, сталеві, трубчасті)?
13. Як розташовуються холодильники у різних зонах печі (шахта, заплечики, горн)?
14. Які матеріали використовуються для виготовлення охолоджувальних плит?
15. Як забезпечується герметичність і надійність охолоджувальних елементів?
16. Які основні вузли входять до системи циркуляції охолоджувальної води?
17. Яку роль відіграють насосні станції в системі охолодження?
18. Як здійснюється подача та відведення води від охолоджувальних елементів?
19. Які параметри (тиск, витрата, температура) контролюються в системі?
20. Які пристрої забезпечують очищення води перед повторним використанням?
21. Які вимоги висуваються до якості охолоджувальної води?
22. Як хімічний склад води впливає на стан трубопроводів і холодильників?
23. Які наслідки може спричинити утворення накипу у системі охолодження?
24. Як запобігають корозії металевих елементів у водяному контурі?
25. Які методи застосовуються для очищення та пом'якшення охолоджувальної води?



26. Які основні схеми циркуляції води використовуються в охолодженні печей?
27. У чому полягає відмінність між замкненою та відкритою системою охолодження?
28. Які переваги має замкнена система водопостачання?
29. Як організовано контроль температури в окремих зонах доменної печі?
30. Які схеми охолодження використовуються на сучасних високопродуктивних доменних печах?
31. Яке призначення мають допоміжні механізми доменної печі?
32. Які агрегати забезпечують подачу шихтових матеріалів у піч?
33. Яке обладнання використовується для видалення шлаку та чавуну?
34. Які прилади забезпечують автоматичний контроль і регулювання технологічних параметрів?
35. Як організована система пилогазоочистки доменного виробництва?
36. Яке призначення насосних станцій у системі охолодження доменних печей?
37. Які типи насосів застосовуються у циркуляційних системах охолодження?
38. Яку роль відіграють резервні насоси та трубопроводи?
39. Як здійснюється автоматичне керування насосними станціями?
40. Які вимоги ставляться до надійності та безперервності роботи насосного обладнання?
41. Які основні небезпеки можуть виникати під час експлуатації систем охолодження?
42. Які заходи вживають для запобігання аваріям і витокам води?
43. Як проводиться контроль стану трубопроводів і з'єднань?
44. Які вимоги охорони праці слід дотримуватися під час обслуговування насосних станцій?
45. Яке значення має профілактичне обслуговування систем охолодження для безпеки працівників?



## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Металургійна кухня : Metinvest Media : веб-сайт. URL: <https://metinvest.media/ua/page/metalurgyna-kuhnya> (дата звернення: 30.10.2025 р.)
2. Залізородна сировина. Різновиди, використання та українські назви : Metinvest SMC : веб-сайт. URL: <https://metinvest-smc.com/ua/articles/zalizadorudna-sirovina-riznovidi-vikoristannya-ta-ukrayinski-nazvi/> (дата звернення: 30.10.2025 р.)
3. Квацук В. Без чавуну не буде сталі. *Металург.* 2022. URL: <https://metalurg.online/prometal/bez-chavunu-ne-bude-stali> (дата звернення: 30.10.2025 р.)
4. Доменна піч: що це таке і як вона працює : Metinvest SMC : веб-сайт. URL: <https://metinvest-smc.com/ua/articles/domennaya-pech-hto-eto-takoe-i-kak-ona-rabotaet/> (дата звернення: 30.10.2025 р.)
5. Що таке чавун? Характеристики металу, особливості виробництва і застосування : Metinvest SMC : веб-сайт. URL: <https://metinvest-smc.com/ua/articles/hto-takoe-chugun-kharakteristiki-metalla-osobennosti-proizvodstva-i-primeneniya/> (дата звернення: 30.10.2025 р.)
6. Виплавка сталі: історія та сучасність : Metinvest : веб-сайт. URL: <https://metinvestholding.com/ua/media/article/viplavka-stali-istoriya-i-sovremennosti> (дата звернення: 30.10.2025 р.)
7. Афтандіянц Є. Г., Зазимко О. В., Лопатько К. Г., Поліщук А. В. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство : конспект лекцій в 2-х книгах. Київ : НУБіП України, 2016. 125. с.
8. Шляхи розвитку «зеленої металургії». Частина 2. Технології виробництва сталі : Metinvest SMC : веб-сайт. URL: <https://metinvest-smc.com/ua/articles/sliaxi-rozvitku-zelenoyi-metalurgiyi-castina-2-texnologiyi-virobnictva-stali/> (дата звернення: 30.10.2025 р.)
9. Фетисов Р. П. Матеріалознавство та технологія матеріалів. 2018.
10. Конспект лекцій з дисципліни «Технологія виплавки сталі» (розд. «Конвертерні процеси») для студентів спеціальності 6.050400 «Металургія чорних металів» (усіх форм навчання) / В. В. Полетаєв. Дніпродзержинськ : ДДТУ, 2012 р.104 с.



11. Мартенівська піч : Metinvest SMC : веб-сайт. URL: <https://metinvest-smc.com/ua/articles/martenivska-pich/> (дата звернення: 31.10.2025 р.)
12. Ярушин С. Г. Технологічні процеси в машинобудуванні. 2014.
13. Позапічна обробка сталі та чавуну : Yampil INFO : веб-сайт. URL: <https://www.yampil.info/archives/56915.html> (дата звернення: 31.10.2025 р.)
14. Величко О. Г., Бойченко Б. М., Нізяєв К. Г. Теорія і практика позаагрегатної обробки чавуну : конспект лекцій. Дніпропетровськ : НМетАУ, 2005. 46 с.
15. Легована сталь: особливості, класифікація та характеристики : Metinvest SMC : веб-сайт. URL: <https://metinvest-smc.com/ua/articles/legirovannaya-stal-osobennosti-klassifikatsiya-i-kharakteristiki/> (дата звернення: 31.10.2025 р.)
16. Сусліков Л. М., Студеняк І. П. Неруйнівні методи контролю : навчальний посібник. Ужгород : Видавництво УжНУ, 2016. 192 с.
17. Єфімов В. А., Ельдарханов А. С. Технології сучасної металургії. М. : Нові технології, 2004 р.
18. Конспект лекцій з дисципліни «Теоретичні основи процесів (за фахом)» Частина III, для здобувачів вищої першого (бакалаврського) рівня зі спеціальності 136 –Металургія за освітньо-професійною програмою «Металургія» / уклад.: О. П. Максименко, М. К. Ізмайлова. Кам'янське : ДДТУ, 2016. 58 с.
19. Лист холоднокатаний: виготовлення, класифікація, використання : Metinvest SMC : веб-сайт. URL: <https://metinvest-smc.com/ua/articles/list-xolodnokatanii-vigotovlennya-klasifikaciya-vikoristannya/> (дата звернення: 02.11.2025 р.).
20. Лист гарячекатаний: класифікація, особливості та переваги : Metinvest SMC : веб-сайт. URL: <https://metinvest-smc.com/ua/articles/list-goryachekatanyy-klassifikatsiya-osobennosti-i-preimushchestva/> (дата звернення: 02.11.2025 р.).
21. Що таке гарячекатаний сталевий прокат і як його виробляють : Metinvest : веб-сайт. URL: <https://www.metinvestholding.com/ua/media/pdf/hto-takoe-goryachekatanij-stalnoj-prokat-i-kak-on-proizvoditsya> (дата звернення: 02.11.2025 р.).
22. Лист сталевий гарячекатаний - сортамент за ГОСТ та ДСТУ : Metinvest SMC : веб-сайт. URL: <https://metinvest-smc.com/ua/articles/list->



[stalevii-garyacekatanii-sortament-za-gost-ta-dstu/](#)

(дата звернення:

02.11.2025 р.).

23. Що таке прокатка сталі і які її способи існують : GALKA.IF.UA : веб-сайт. URL: <https://galka.if.ua/shho-take-prokatka-stali-i-yaki-ii-sposobi/>

(дата звернення: 02.11.2025 р.).

24. Труби безшовні - класифікація, технологія виробництва : ЧП «Сплав» : веб-сайт. URL: <https://www.splav.dp.ua/ua/informatsiia/20-truby-bezshovni-2> (дата звернення: 02.11.2025 р.).

25. Види зварних труб, способи виробництва, переваги матеріалу : PipeMastak : веб-сайт. URL: <https://pipemastak.com.ua/types-pipes/vidi-zvarnih-trub-sposobi-virobnictva-perevagi-materialu.html> (дата звернення:

02.11.2025 р.).



*Навчально-методичне видання*

**Малій Христина Василівна  
Малій Олександр Геннадійович**

## **ОСНОВИ МЕТАЛУРГІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ**

**Конспект лекції**

Самостійне електронне мережеве видання

Публікується в авторській редакції