

**Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України  
Запорізька державна інженерна академія**

**Б.П. Середа  
М.Г. Прищип  
І.В. Кругляк  
Т.О.Васильченко**

## **ПРОКАТКА ЛИСТІВ ТА ШТАБ**

**Навчально-методичний посібник**

*для студентів ЗДІА  
спеціальності 6.05040104, 7.05040104 8.05040104 «Обробка металів  
тиском»*

Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України  
Запорізька державна інженерна академія

*Затверджено до друку  
рішенням науково-методичної ради ЗДІА  
протокол № \_\_ від \_\_\_\_\_ 2012 р.*

## **ПРОКАТКА ЛИСТІВ ТА ШТАБ**

### **Навчально-методичний посібник**

*для студентів ЗДІА  
спеціальності 6.05040104, 7.05040104 8.05040104  
«Обробка металів тиском»*

*Рекомендовано до видання  
на засіданні кафедри МОМ  
протокол № 1 від 30.08.2011р.*

Запоріжжя  
ЗДІА  
2012

*Б.П. Серета, д.т.н., професор  
М.Г. Прищип, к.т.н., доцент  
І.В. Кругляк, к.т.н., доцент  
Т.О. Васильченко, аспірант*

**Відповідальний за випуск:** *зав. кафедри МОМ,  
д.т.н. професор Б.П. Серета*

**Рецензенти:** *В.М. Данченко – завідувач кафедрою «Обробки металів тиском»  
Національної металургійної академії України, доктор технічних  
наук, професор*

*Г.П. Малишев – професор кафедри «Металургійного обладнання»  
Запорізької державної інженерної академії*

**Серета Б.П., Прищип М.Г., Кругляк І.В., Васильченко Т.О.**  
**Прокатка листів та штаб: навчально-методичний посібник для студентів ЗДІА**  
**спеціальності 6.05040104, 7.05040104, 8.05040104 «Обробка металів тиском» /**  
**Б.П. Серета, М.Г. Прищип, І.В. Кругляк, Т.О. Васильченко – Запоріжжя, ЗДІА,**  
**2012. – \_\_\_ с.**

Навчально-методичний посібник призначений для студентів спеціальності «Обробка металів тиском», який містить опис і аналіз технологічних процесів виробництва листів та штаб. У посібнику докладно розглянуті схеми виробництва листової продукції, компонування основних технологічних ліній прокатки, склад та якість вихідного матеріалу. Особливу увагу приділяється виробництву напівпродукту, тобто слябів. Розглядаються можливі дефекти зливків та шляхи їх усунення. В посібнику також представлені дані щодо прокатки товстих листів і біметалевих матеріалів та прокатки технологічної сталі. В якості прикладів розраховуються режими деформації при прокатуванні штаб.

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
1 ОСНОВИ ТЕХНОЛОГІЇ ЛИСТОПРОКАТНОГО ВИРОБНИЦТВА .....	11
1.1 Схеми виробництва листів і штаб .....	11
1.2 Сталі і сплави для гарячої прокатки тонких листів та штаб.....	15
1.3 Сталі і сплави для прокатки товстих і біметалевих листів .....	21
1.4 Сталі і сплави холодної прокатки штаб і листів .....	28
1.5 Технічні вимоги до листів і штаб .....	35
1.6 Якість поверхні плоского прокату.....	40
2 ВИРОБНИЦТВО СЛЯБІВ.....	44
2.1 Зливки маловуглецевих киплячих сталей і сплавів кольорових металів .....	44
2.2 Зливки напівспокійної маловуглецевої сталі .....	47
2.3 Зливки нестаріючої та спокійної сталі .....	49
2.4 Дефекти поверхні злиwkів.....	54
2.5 Способи зачистки дефектів поверхні .....	57
2.6 Видалення дефектів поверхні гарячого металу.....	60
2.7 Лезова зачистка дефектів поверхні .....	62
2.8 Абразивна зачистка дефектів поверхні.....	64
2.9 Технологічні основи переддеформційного нагріву металів .....	67
2.10 Теплообмінні апарати для нагріву злиwkів .....	71
2.11 Технологія нагріву злиwkів.....	76
2.12 Виробництво слябів на обтискних станах .....	82
2.13 Технологічні параметри прокату слябів .....	87
2.14 Допустимі сили прокатування в клітках дуо.....	93
2.15 Режими обтисків в процесі прокатки слябів .....	95
2.16 Режим швидкості прокатки на станах слябінг .....	100
2.17 Машини і технологія.....	106
2.18 Особливості планування й різновиди відділень безперервної розливки сталі (ВБРС).....	110
3 ПРОКАТКА ТОВСТИХ І БІМЕТАЛЕВИХ ЛИСТІВ.....	114

3.1 Нагрів вихідних матеріалів .....	114
3.2 Товстолистові стани (ТЛС) .....	117
3.3 Способи виробництва біметалевих листів.....	131
3.4 Механізм сполуки металів у твердій фазі.....	134
3.5 Параметри прокатки бі - Ме.....	137
3.6 Момент і потужність прокатки бі - Ме .....	140
4 ВИРОБНИЦТВО ТОНКОЛИСТОВОЇ СТАЛІ.....	144
4.1 Технологічні лінії гарячої прокатки штаб .....	144
4.2 Технологія прокатки штаб на БШС.....	150
4.3 Технологія прокатки на напівбезперервних широкоштабових станах.....	154
4.4 Технологічні лінії гарячої прокатки високоміцних і спеціальних сталей...	158
4.5 Особливості транзитної прокатки штаб на БШС.....	161
4.6 Проектування деформаційних параметрів гарячої прокатки штаб.....	165
4.7 Режими швидкостей прокатки .....	172
4.8 Температурне поле прокатки на БШШС .....	173
4.9 Ливарно-прокатні технологічні лінії (ЛПТЛ) .....	177
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ .....	184

## ВСТУП

Цехи металургійних підприємств розташовують в певній послідовності та взаємозв'язку з метою забезпечення гнучкості, маневреності та синхронізації роботи технологічних комплексів заводів. Завод з повним металургійним циклом обов'язково включає такі основні комплекси:

1. Доменний для виробництва чавуну;
2. Сталеплавильний для виробництва зливків, блюмів, слябів, а в окремих випадках і заготівель, наприклад тонких слябів на МНЛЗ;
3. Прокатний, який виготовляє напівфабрикати (наприклад, сляби) і товарну металопродукцію.

Заводи якісної кольорової металургії з виробництвом прокату із легованих сталей і кольорових металів та їх сплавів не мають в своєму складі доменного виробництва.

Цехи прокатного комплексу утворюють блок прокатних цехів. Як правило, ці блоки призначені для спеціалізованого виробництва прокату.

Якщо за обтисково-заготівельними станами розташовані тільки сортопрокатні та дотові стани – блок називається сортовим, наприклад, на комбінаті «Криворіжсталь» (м.Кривий Ріг Дніпропетровської області, України).

Якщо за обтискним станом слябінгом послідовно розташовано цех гарячої прокатки штабової сталі (завод «Запоріжсталь», м. Запоріжжя, Україна), блок називають листовим. Прокатний комплекс змішаного варіанту використано на заводі «Азовсталь» (м. Маріуполь, Україна), де окрім сортової виробляють також товстолистову сталь. Більш сучасні блоки прокатних цехів замість обтисково-заготівельних станів мають в своєму складі машини неперервного лиття (МНЛЗ), завдяки цьому із технологічного циклу вилучається поштучне розливання сталі на зливки, нагрів та прокатки останніх. Це дає можливість зменшити матеріало – та енергоємність виробництва плоского прокату. Останнім часом з'явилися комплексні технологічні лінії для отримання штаб із рідкого розплаву сталі з поточно-послідовною компоновкою

МНЛЗ + прокатний стан, де виконується технологія НР+ПП (неперервна розливка + пряма прокатка).

Не тільки металургійні підприємства і прокатні комплекси спеціалізовані для виробництва сортових профілів, листів і штаб або труб, але і самі комплекси поділяються на цехи з вузькоспеціалізованими прокатними станами. Листи, штаби і стрічки прокатують на листо- та штабо прокатних станах різних типів: одно-, дво- і багатоклітьових, реверсивних, напівбезперервних, безперервних і повністю безперервних. Умовно листи та штаби поділяють за їх товщиною «h» на сім груп:

- 1) Плити,  $h = 50 - 200$  мм;
- 2) Товсті листи,  $h = 5 - 50$  мм;
- 3) Тонколистову гарячекатану сталь,  $h = 0,8 - 3,9$  мм;
- 4) Тонколистову холоднокатану сталь,  $h = 0,5 - 2,0$  мм;
- 5) Сталеву стрічку,  $h = 0,1 - 0,45$  мм;
- 6) Жерсть,  $h = 0,08 - 0,36$  мм;
- 7) Фольгу із кольорових металів та їх сплавів,  $h = 0,001 - 0,07$  мм.

Під листами розуміють плоский прокат відносно невеликої стандартної довжини в межах 2-12 м. Штаби – це плоский прокат змотаний моталками в потоці стана в рулони масою в основному в межах 5 - 50 т. Ширина плоского прокату визначається його товщиною, призначенням і довжиною бочок валків робочих клітей прокатного стана. Так довжина бочок валків сучасних станів знаходиться в межах:

- товстолистових 3000 - 5500 мм;
- широкоштабових безперервних 1700 - 2300 мм;
- для прокатки жерсті 1200 - 1400;
- для прокатки стрічок і фольги 400 - 1200 мм.

Плоский прокат груп 1,2 і 3 отримують, деформуючи заготовлю в гарячому стані за температури в межах  $850 - 1250,^{\circ}\text{C}$ , а групи 4 - 7 - холодною прокаткою.

Вихідною заготівлею для отримання прокату груп 1, 2 і 3 є сляби прокатані на слябінгах або відлиті на МНЛЗ. Особливо товсті ( $h = 100 - 200$  мм) плити шириною 2000 - 5000 м прокатують із плоских зливків масою 50 - 100 т. Холоднокатані штаби прокатують із гарячекатаних, попередньо очищуючи поверхню останніх від окалини. Стрічки, жерсть і фольгу в основному прокатують із холоднокатаних штаб після знеміцнення останніх рекристалізаційним відпалом.

Найбільшими споживачами листового прокатує машинобудування, в тому числі авто- і суднобудування, електротехнічна і енергетична галузі, трубопровідний транспорт, авіабудування, хімічне машинобудування. Зазначимо, що з кожним роком збільшується споживання тонколистової продукції із покриттям різного призначення.



# 1 ОСНОВИ ТЕХНОЛОГІЇ ЛИСТОПРОКАТНОГО ВИРОБНИЦТВА

## 1.1 Схеми виробництва листів і штаб

Виконання функцій обробки металів в часі і просторі на технологічних лініях прокатних цехів складає сутність технологічного процесу прокатки. Виходячи з цього, технологія прокатного цеху - це сукупність прийомів способів та методів підготовки вихідних матеріалів (наприклад, видалення дефектів поверхні заготівель та нагрів зливків або напівфабрикатів – слябів), їх деформації, (наприклад, прокатки слябів на товсті листи або штаби) та кінцевих операцій (наприклад, регулююмого охолодження, змотування штаб в рулони, термічної обробки, порізу на листи, правки, штабелювання, упаковки та ін.).

Класична схема виробництва листового прокату застосовується на комбінаті «Запоріжсталь» - це так званий листовий блок цехів (рис.1.1). Згідно такої схеми зливки прокатують на сляби, які з нагрівом в печі або без нього (транзитом) прокатуються на гарячекатані штаби на БСГП (безперервному стані гарячої прокатки). Цех виготовляє прокатну продукції, а саме гарячекатані штаби і листи. Крім того цех гарячої прокатки забезпечує заготівкою цехи холодної прокатки і цех гнутих профілів. Цей варіант технології гарячої прокатки у вигляді послідовно виконаних операцій виробничого процесу показано на рис.1.2 (схема *a*). Очевидно, що виробництво має бути синхронізовано в просторі та часі. Складність синхронізації тим значніше, чим більше технологічних ступеней має технологічний процес.

Таким чином схема *a* порівняно зі схемами *b* і *c* є більш складною в технологічному і управлінсько-виробничому аспектах. Крім того кожна фаза обробки (нагрів, прокатка, поріз металу і т.п.) призводить до додаткових відходів або витрат металу в окалину, кінцеві хвости (язики), обрізь і т.д. Тому останнім часом частково схема *a* заміщується схемою *a1* з транзитною прокаткою слябів на штаби, що спрощує оперативне управління виробництвом, зменшує енергоємність та матеріалоємність технологічного процесу. Схеми *b* і

с з використанням МНЛЗ дозволяють крім вищенаведених переваг виключити із виробничого процесу обтискні цехи. Зазначимо, що схеми *a2* і *c*, в яких передбачається зачистка дефектів на слябах, використовується для виробництва листів із легованих сталей, наприклад нержавіючих, тобто на заводах якісної металургії та в кольоровій металургії. Звичайно кожне металургійне підприємство має окремі технологічні особливості, тобто схеми *a*, *a1*, *a2*, *b* і *c* не охоплюють всього різномайття технологій і виробничих процесів в комплексах і цехах гарячої прокатки листів і штаб.

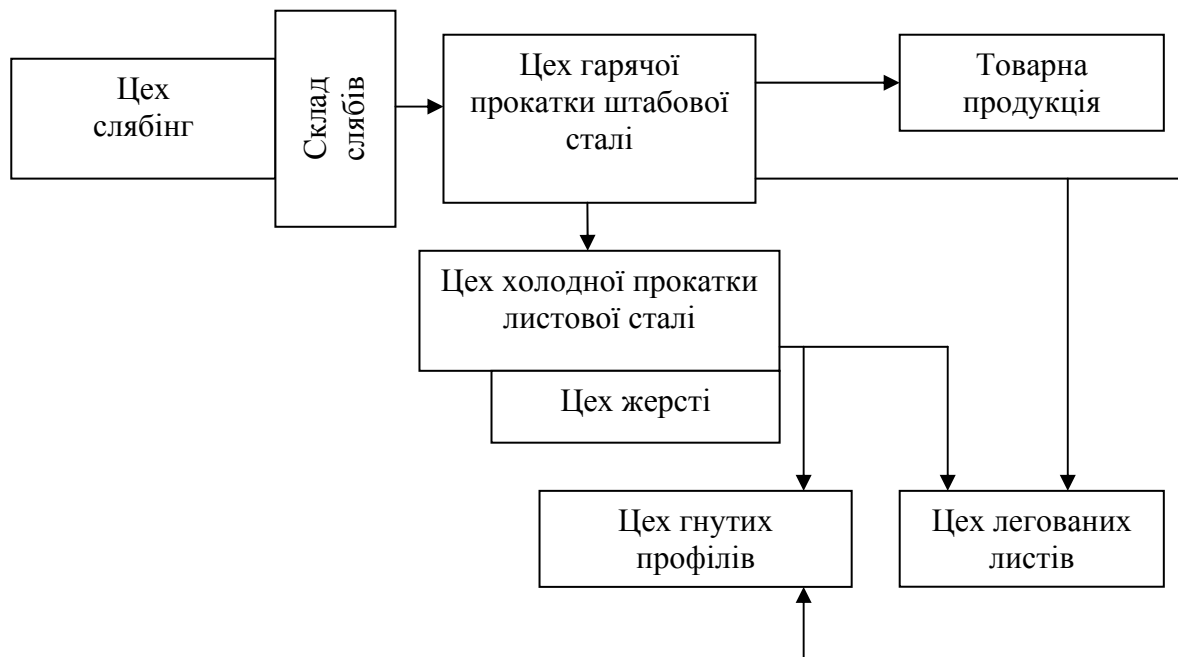


Рис.1.1 Схема компоновки цехів прокатного комплексу листового варіанту: стрілками позначено напрямки вантажопотоків напівфабрикатів

Таким чином кожен листо- або штабо прокатний цех складається із декількох ТЛ (технологічних ліній). Основними ТЛ є:

- ТЛ підготовки вихідних матеріалів до прокатки. В цехах гарячої прокатки - це дільниця видалення окалини, тобто ТЛ безперервних травильних агрегатів (БТА);

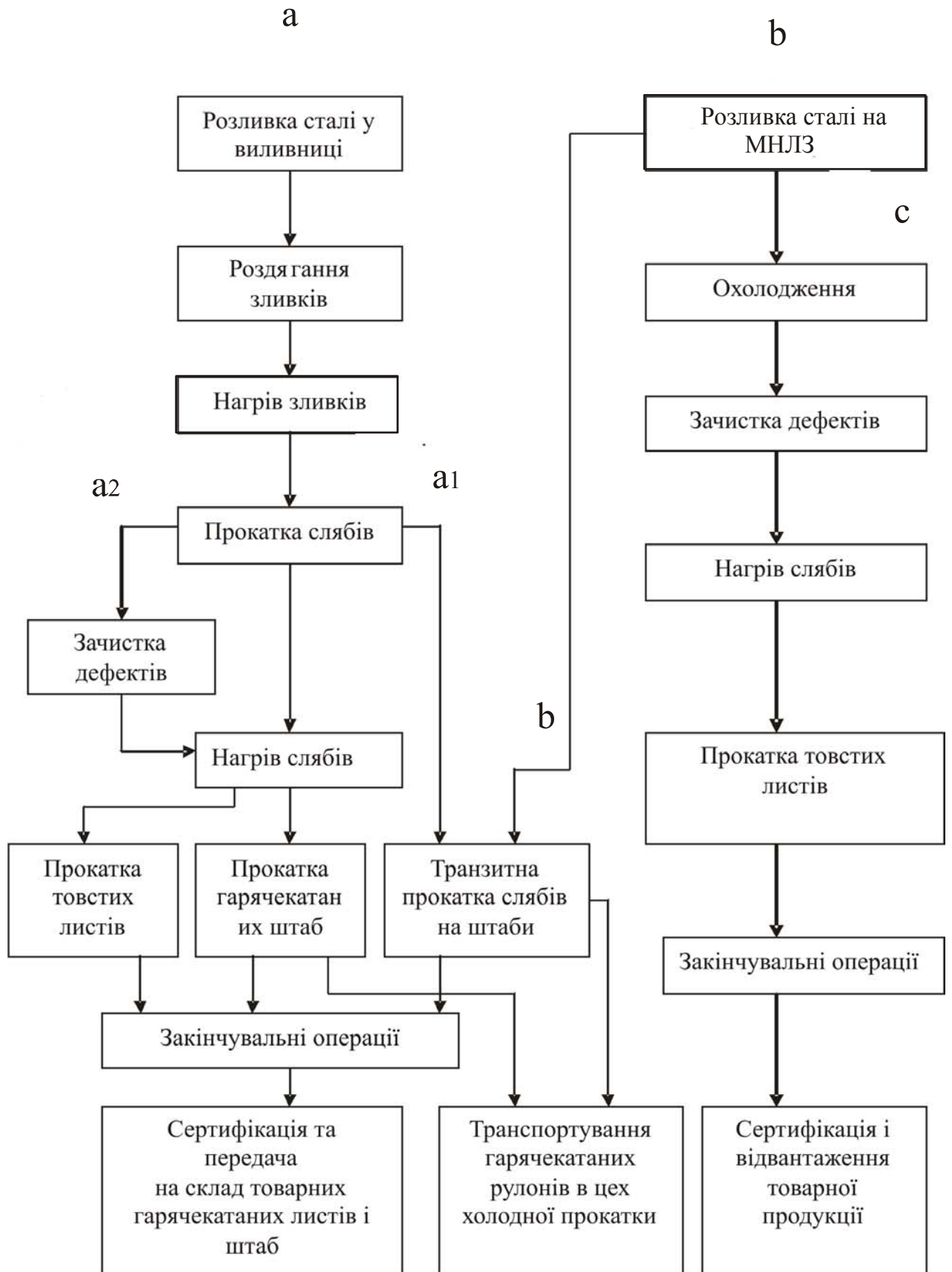


Рис.1.2 Схеми виробництва гарячекатаних листів і штаб: а - класична; в – нова; с – нова (товстолистовий стан +МНЛЗ).

- ТЛ прокатки вихідних матеріалів на напівфабрикати, наприклад зливків на блюми або ж напівфабрикатів на готову продукцію, наприклад слябів на товсті листи;
- ТЛ закінчу вальних операцій - це лінії термообробки, нанесення антикорозійного покриття на поверхню прокату, ліній порізу і т.ін.

У технологічному відношенні найбільш складними є лінії прокатки тобто прокатні стани, які складаються із послідовно розташованих прокатних (робочих) клітей – технологічних машин.

Узагальнюючи, можна сказати, що ТЛ цеха – це послідовне розташування двох або більше технологічних машин – робочих клітей для виконання технологічного процесу в потоці, тобто в одночасному процесі деформації та транспортування металу. Для цього технологічні машини зв'язують поміж собою транспортними устроями, наприклад транспортерами. ТЛ також оснащені подаючими і відводними транспортними засобами для транспортування відповідно вихідних матеріалів або напівфабрикатів і готового прокату.

Технологічну лінію у виробничо-технологічному та управлінському аспекті поділяють, виходячи з виконуваних функцій, на три ділянки:

1. Вихідну у якій метал готується до ОМТ;
2. Головну або середню, де метал безпосередньо деформується – обробляється тиснучим інструментом, наприклад валками;
3. Закінчувану, де металеві профілі штаби піддають термообробці, порізу і т.ін.

Перелічені ділянки наочно – схематично показано на рис.1.3 на прикладі ТЛ БШШСП (безперервного широкоштабового стану гарячої прокатки) 1700.

Очевидно, що на кожній із ділянок є свій або свої технологічні агрегати, так на 1 – це нагрівальні печі, 2 – прокатні кліті, на 3 – ножиці, душуючий пристрій і т.ін. Робочі машини технологічного призначення відносять до головних об'єктів ТЛ. Таким чином ТЛ складається із головних об'єктів і транспортуючих засобів, які зв'язують технологічні агрегати в поточну ТЛ.

В технологічному аспекті найбільш важливими головними об'єктами є робочі кліти прокатних станів.

В залежності від призначення стани можуть бути одно – чи багатоклітьовими (рис.1.3).

Таким чином, комплекси прокатних цехів, об'єднані в блоки того чи іншого варіанту мають забезпечувати поточність виробництва без пересічних вантажопотоків поміж цехами та посередені цехів поміж технологічними лініями. Такі вимоги щодо вантажопотоків забезпечують при повздовжньому розташуванні технологічних ліній. Але це приводить до значного подовження головного виробничого шляху. Скорочення шляху технологічної обробки в прокатних цехах досягається об'єднанням кількох технологічних ліній в один комплекс, наприклад МБРС+ТЛ прокатки. Компоновка таких повністю безперервних ТЛ і комплексів розглядатимуться в одному із подальших розділів.

## **1.2 Сталі і сплави для гарячої прокатки тонких листів та штаб**

90 % виплавляємих сталей і сплавів перероблюються в металовироби прокаткою. Доля (частка) листів і штаб в загальному обсязі прокату складає 50%, а в окремих країнах, наприклад Японії, досягає 60%. Розглядаючи сортамент листового прокату за хімічним, необхідно виділити, що основну масу складають сталеві листи. В свою чергу, в сортаменті сталевих листів основну частину займає плоский прокат із вуглецевих (близько 78 %) та низьколегованих (близько 20%) марок сталі. Частка листів із високолегованих спеціальних сталей складає 2 %, але вона постійно зростає.

Широке застосування отримали листи із рядових і якісних конструкційних низьколегованих сталей. До рядових сталей відносяться сталі марок Ст1кп, Ст1нс (пс), Ст1сп, Ст2кп, Ст2нс, Ст2сп, Ст3кп, Ст3нс, Ст3сп та інші (див. табл.1.1). У відповідності до держстандартів конструкційну вуглецеву сталь звичайної якості поділяють в залежності від призначення і гарантованих характеристик якості на групи А, Б і В.

Листова сталь із марок групи А у споживачів не піддається гарячій обробці, отже структура і властивості які метал має в стані постачання, тобто надані плоскому прокату в прокатному цеху, зберігаються і у виробках машинобудування. Хімічний склад для групи А не регламентується або не гарантується за винятком випадків, коли листи поставляють з гарантованими обмеженнями по вмісту сірки, фосфору, хрому, нікелю, міді, кремнію і вуглецю, наприклад для зварюваних конструкцій. Для плоского прокату, виготовляемого із сталей групи А, обов'язковими є гарантуемі механічні властивості, до яких відносять границю міцності  $\sigma_B$ , межу текучості  $\sigma_T$  і відносне видовження (табл.1.1). Якщо сталь призначена для зварювання, визначають зварюваність, для чого виконують випробування із зразків зі швом на згин.

Таблиця 1.1 Механічні властивості конструкційної вуглецевої сталі звичайної якості (стандарт 380)

Марка сталі	Механічні властивості		
	$\sigma_B$ , МПа	$\sigma_T$ , МПа не менше	$\delta_s$ , % не менше
Ст.0	320	-	22
Ст.1 <sup>1</sup> , Ст1кп <sup>2</sup> , Ст1нс <sup>3</sup>	320-420	-	33
Ст2, Ст2кп, Ст2нс	340-440	220	31
Ст3, Ст3кп, Ст3нс	380-490	240	25
Ст4, Ст4кп, Ст4нс	420-540	260	23
Ст5	500-640	280	19
Ст6	не менше 600	310	14

1 - (без поля цифр) – спокійні сталі

2 – (кп) - киплячі сталі

3 – (нс) - напівспокійні сталі.

Для сталей звичайної якості групи Б згідно держстандарта 380 для листового прокату гарантуються тільки хімічний склад. Марки сталей групи Б позначається буквами М, К, Б, що показує спосіб виплавки, відповідно в

мартенівських печах, в конвертерах з продувкою киснем зверху і в бесемерівських конвертерах. Хімічний склад сталей наведено в таблиці 1.2.

Рядові сталі групи В додатково маркуються буквою В: ВМСт2, ВМСт3, ВМСт4, ВМСт5, ВКСт2, ВКСт3, ВКСт4, ВКСт5. Гарантованими показниками якості листів із сталей групи В є хімічний склад і механічні властивості. Для них, наприклад для сталі ВМСт3, сталь за хімічним складом має відповідати вимогам складу сталі МСт3 (табл.1.2), а за механічними властивостями сталі марки Ст. 3 (табл. 1.1).

Цифри в кінці маркування сталей груп А, Б і В показують вміст вуглецю в десятих долях відсотків. Таким чином більшість зі сталей відносяться до низько вуглецевих ( $C \leq 0,25 \%$ ), і винятком є сталі Ст4, Ст5, Ст6 і Ст7, які відносяться до середньо вуглецевих ( $C = 0,25 - 0,6 \%$ ).

Широке застосування отримав гарячекатаний плоский прокат із якісних конструкційних сталей, які поділяють на дві групи:

- чисто вуглецеві які позначають відповідно стандарту 1050: 05, 08, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55, 60, 65, 70, 75, 80, 85 (група I);
- група II з підвищеним вмістом марганцю, які відповідно стандарта 14959 позначають 15Г, 20Г, 25Г, 30Г, 35Г, 40Г, 45Г, 50Г, 60Г, 65Г, 70Г. Двозначні цифри в сталях груп I та II відповідають середньому вмісту вуглець в сотих долях відсотка, наприклад сталь 08 має вміст вуглецю 0,08%. а сталь 65Г має у своєму складі 0,65%С.

Хімічний склад якісної конструкційної сталі наведено в таблиці 1.3. Листи, які в автотракторному машинобудуванні піддають в процесі холодної штамповки глибокій витяжці прокатують із вуглецевої сталі марок від 08 до 20 включно. Листову сталь, яку під час холодної штамповки піддають глибокій витяжці, прокатують із вуглецевих сталей 15, 20, 25, 30 і 35.

Гарячекатані штаби прокатують також із низьколегованих сталей, які, як правило, мають відносно невеликий вміст вуглецю (до 0,25%) і легуючі елементи з вмістом кожного до 1%, а в сумі не більше 5%. Прикладом є сталі марки 25ХСА, 30ХГСА, 30ХГС, причому хімічний склад сталей 30ХГСА і

30ХГС майже не відрізняється (0,25 - 0,35 %С, в середньому по 0,90 % Cr, Mn і Si), а буквою «А» в кінці запису сталі позначають високоякісну сталь, яка має обмеження по вмісту шкідливих домішок сірки і фосфору, а саме не більше 0,03%.

Високоякісні низько вуглецеві сталі в основному виплавляються в електропечах. Добавки легуючих компонентів дають можливість підвищити міцність виробів із таких сталей, які в основному використовуються у будівництві мостів, судів, вагонів, трубопроводів, котлів, платформ морського буріння. Підвищена міцність низьколегованих сталей призводить до зменшення маси конструкцій та економії металу.

Тонколистову гарячекатану продукцію виготовляють також із легованих конструкційних сталей, таких як:

- хромистих (15Х, 20Х, 30Х, 35Х, 40Х та ін.);
- хромомарганцевих (18ХГ, 40ХГ та ін.);
- хромокремнієвих (35ХС, 40 ХС);
- хромованадієвих (15ХФ, 20ХФ, 40ХФА);
- хромомолібденових (15ХМ, 30 ХМ, 35ХМ);
- хромонікелевих (20ХН, 40ХН, 45ХН, 50ХН, 12НЗА, 20ХНЗА та ін.);
- хромокремніємарганцевих (20ХГСА, 25ХГСА, 30ХГСА, 35ХГСА).

Хімічний склад цих сталей регламентується стандартом 454.

Тонколистову гарячекатану сталь із високолегованих, наприклад, нержавіючих, прокатують як товарну продукцію (гарячекатані листи), так і в рулонах в якості підкату для цехів холодної прокатки. Розрізняють за призначенням два типи нержавіючих сталей:

1 - корозійностійкі нержавіючі сталі, які працюють в умовах дії на них агресивних середовищ;

2 – жаростійкі нержавіючі сталі, що мають достатню міцність, не руйнуються і не піддаються корозії в агресивних газових середовищах при температурах вищих за 550 °С.



Таблиця 1.2 Хімічний склад (%) конструкційної вуглецевої сталі звичайної якості (Держстандарт 380)

Марка сталі	С	Mn	Si в сталі			P	Si
Мартенівська конверторна сталь							
Ст0, КСт0	≤0,23	-	-	-	-	0,070	0,060
Ст1, КСт1	0,06-0,12	0,25-0,50	≤0,05	0,05-0,15	0,12-0,30	0,045	0,055
Ст2, КСт2	0,09-0,15	0,25-0,50	≤0,07	0,05-0,15	0,12-0,30	0,045	0,055
Ст3, КСт3кп	0,14-0,22	0,30-0,60	≤0,07	-	-	0,045	0,055
Ст3пс, КСт3сп	0,14-0,22	0,40-0,55	-	0,05-0,15	-	0,045	0,055
Ст3сп, КСт3сп	0,14-0,22	0,40-0,65	-	0,05-0,15-	0,12-0,30	0,045	0,055
Ст4, КСт4	0,18-0,27	0,40-0,70	≤0,07	0,05-0,15	0,12-0,30	0,045	0,055
Ст5, КСт5	0,28-0,37	0,50-0,80	-	0,05-0,15-	0,15-0,35	0,045	0,055
Ст6, КСт6	0,38-0,49	0,50-0,80	-	0,05-0,15	0,15-0,35	0,045	0,055
Ст7, КСт7	0,50-0,62	0,50-0,80	-	0,05-0,15-	0,15-0,35	0,045	0,055
Бесемерівська сталь							
Ст0	≤0,14	-	-	-	-	0,090	0,060
Ст3	≤0,12	0,25-0,55	≤0,07	0,05-0,15	0,12-0,35	0,080	0,060
Ст4	0,12-0,20	0,35-0,55	≤0,07	0,05-0,15	0,12-0,35	0,080	0,060
Ст5	0,17-0,30	0,50-0,80	-	0,05-0,15	0,12-0,35	0,080	0,060
Ст6	0,26-0,40	0,60-0,90	-	0,05-0,15	0,2-0,35	0,080	0,060

Таблиця 1.3 Хімічний склад якісної конструкційної сталі (держстандарт 1050).

Марка сталі	Вміст елементу, %				
	C	Si	Mn	Cr	P
				не більше	
05кп	≤0,06	≤0,03	≤0,04	0,10	0,035
08кп	0,05-0,11	≤0,03	0,25-0,50	0,10	0,040
08	0,05-0,12	0,17-0,37	0,35-0,65	0,10	0,035
10кп	0,07-0,14	≤0,07	0,25-0,50	0,15	0,040
10	0,07-0,14	0,17-0,37	0,35-0,65	0,15	0,035
15кп	0,12-0,19	≤0,07	0,25-0,50	0,25	0,040
15	0,12-0,19	0,17-0,37	0,35-0,60	0,25	0,040
20кп	0,17-0,24	≤0,07	0,25-0,50	0,25	0,040
20	0,17-0,24	0,17-0,37	0,35-0,65	0,25	0,040
25	0,22-0,30	0,17-0,37	0,50-0,80	0,25	0,040
30	0,27-0,35	0,17-0,37	0,50-0,80	0,25	0,040
35	0,22-0,40	0,17-0,37	0,50-0,80	0,25	0,040
40	0,37-0,45	0,17-0,37	0,50-0,80	0,25	0,040
45	0,42-0,50	0,17-0,37	0,50-0,80	0,25	0,040
50	0,47-0,55	0,17-0,37	0,50-0,80	0,25	0,040
55	0,52-0,60	0,17-0,37	0,50-0,80	0,25	0,040
60	0,57-0,65	0,17-0,37	0,50-0,80	0,25	0,040
65	0,62-0,70	0,17-0,37	0,50-0,80	0,25	0,040
70	0,67-0,75	0,17-0,37	0,50-0,80	0,25	0,040
75	0,72-0,80	0,17-0,37	0,50-0,80	0,25	0,040
80	0,77-0,85	0,17-0,37	0,50-0,80	0,25	0,040
85	0,82-0,90	0,17-0,37	0,50-0,80	0,25	0,040
60Г	0,57-0,65	0,17-0,37	0,70-1,20	0,25	0,040
65Г	0,62-0,70	0,17-0,37	0,90-1,20	0,25	0,040
70Г	0,67-0,75	0,17-0,37	0,90-1,20	0,25	0,040

До типу 1 відносять хромонікелеві сталі з титаном (близько 1%) або його марок 12X18H10T, 12X18H9T, 12X18H9, 17X18H9 та ін. Це сталі аустенітного

класу, в складі яких 18% Cr, 9 або 10% Ni. Ці сталі доволі пластичні, мають високі механічні та антикорозійні властивості, достатню зварюваність і міцність при високих температурах.

Сталі типу 2 – хромисті нержавіючі сталі 08X13, 12X13, 20X13, 30X13, 40X13, X14, які мають в якості легуючого компонент 12-14% Cr. Сталі 12X17, 08X17T і 14X17H2 містять 16 - 18% Cr, сталі марок 15X25T, 15X28 зі вмістом Cr 25 - 28%. Хромисті сталі після гарячої прокатки і охолодження на повітрі мають феритну або мартенситну структуру.

Крім того, в гарячому стані прокатують також штаби із нержавіючих сталей проміжних класів аустенітно-мартенситних (09X15H8Ю, 09X17H7Ю та ін.) та аустенітно-феритних (12X21H5T, 08X18T1 та ін.). Хімічний склад нержавіючих сталей наведено в стандарті 5632.

В цехах гарячої прокатки виготовляють також штаби в рулонах електротехнічної сталі, які є підкатом для послідувочої холодної прокатки.

Детальніше хімічний склад, фазові класи і структури та властивості сталей для гарячої прокатки штаб і листів розглядаються в підручниках по матеріалознавству і термічній обробці металів, сталей і сплавів [1, 2, 3].

### **1.3 Сталі і сплави для прокатки товстих і біметалевих листів**

У зв'язку із все більшою розбудовою магістральних трубопроводів транспортування нафти, води і природного газу та платформ морського буріння, мосто- , котло- і суднобудування останнім часом зростає попит на товстолистову сталь. Наприклад, електрозварні труби діаметром 710 – 1420 мм виготовляють із товстих листів товщиною 7 – 20 мм. Україна займає чільне місце в Європі по виробництву товстолистової сталі. В м. Маріуполі (Донецька обл.) працюють два потужні товстолистові стани (ТЛС). ТЛС 3600 експлуатується разом з комплексом безперервної розливки сталі на комбінаті «Азовсталь», а ТЛС 3000 - на комбінаті ім. Ілліча. ТЛС 2800 працював на

Алчевському комбінаті з 1955р., який в 2004-2006 р. реконструйовано в стан 3000.

Сталі для прокатки товстих листів обирають в залежності від призначення останніх. Наприклад товстолистовий прокат товщинами від 40 до 160 мм для виготовлення зварюванням котлів, балонів і резервуарів, які працюють під високим тиском прокатують із якісних вуглецевих та легованих сталей, які повинні відповідати за хімічним складом відповідно вимогам держстандартів 380 і 1050 (таблиці 1.2 і 1.3) та 19282 (таблиця 1.4).

Таблиця 1.4 Хімічний склад низьколегованої товстолистової сталі (стандарт 19282)

Марка сталі	Вміст елементів, %						
	C	Si	Mn	Cr	Ni	Cu	V
не більше							
Марганцева							
09Г2	0,12	0,17-0,37	1,40-1,80	0,3	0,3	0,3	-
14Г2	0,12-0,18	0,17-0,37	1,20-1,60	0,3	0,3	0,3	-
Кремнієвомарганцева							
12ГС	0,09-0,15	0,50-0,80	0,80-1,20	0,3	0,3	0,3	-
16ГС	0,12-0,18	0,40-0,70	0,90-1,20	0,3	0,3	0,3	-
17ГС	0,14-0,20	0,40-0,60	1,00-1,40	0,3	0,3	0,3	-
09ГС2	0,12	0,50-0,80	1,30-1,70	0,3	0,3	0,3	-
10Г2С1	0,12	0,8-1,110	1,30-1,65	0,3	0,3	0,3	-
Марганцевованадієва							
15ГФ	0,12-0,18	0,17-0,37	0,90-1,20	0,3	0,3	0,3	0,05-0,12
Хромокремнемарганцева							
14ХГС	0,11-0,16	0,40-0,70	0,90-1,30	0,5-0,8	0,3	0,3	-
Хромокремнієво-нікелева з міддю							
15ХСНД	0,12-0,16	0,40-0,70	0,40-0,70	0,60-0,90	0,30-0,60	0,20-0,40	-
10ХСНД	0,12	0,80-1,10	0,50-0,80	0,60-0,90	0,50-0,80	0,40-0,60	-

Крім наведених в табл.1.4 сталей для будування карнизів суден зварюванням використовують сталі ВСт3, ВСт3нс, 09Г2С і 10Г2С1Д (стандарт 5521), сталі вуглецеві для мостобудування (стандарт 6713). Взагалі в стандарті 19282 наводиться вимоги щодо хімічного складу більше тридцяти марок сталей.

Товсті листи і плити обов'язково піддають неруйнівному контролю на ультразвукових дефектоскопах для виявлення внутрішніх тріщин, несучільностей і т.п. Крім того визначають механічні властивості (границі текучості і звуження, твердість по Брінелю та ударну в'язкість, питому енергію руйнування) при температурах від +20 до -40 °С і в окремих випадках при -70 °С. Якщо якість товстолистової сталі регламентується технічними умовами, то додатково випробовують зразки зі зварними швами, при цьому регламентується і режим зварювання. Зварюваність сталей – поняття суто технологічне і її поділяють на теплову і металургійну.

Теплова зварюваність – це реакція металу на теплові (температурно-термічні) впливи за прийнятої технології зварювання. Наприклад, схильність металу в зонах шва, біля шовної зони і основного металу до створення гарячих і холодних тріщин, до перегріву, до піднагартування, до ламкості і т.ін.

Металургійна зварюваність – це поведінка металу в зварювальній ванні чи в зоні доплавлювання та зміни його властивостей в результаті взаємодії зі шлаками, окислами та під час кристалізації в умовах вибраного процесу зварювання. На практиці необхідно брати до уваги особливості як теплової так і металургійної зварюваності в комплексі.

Зварюваність визначають різними методами випробовуючи зразки металу зі швами. Вибір методів випробування залежить від призначення зварених швів. Наприклад, зварені шви із нескінчених стрічок для холодної прокатки випробують на:

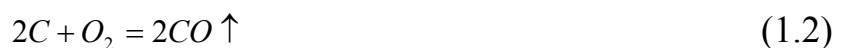
- статичний згин, визначаючи кут згину до появи першої тріщини;
- динамічний знакоперемінний згин (згин з перегином), визначаючи кількість згинів до руйнування шву;

- динамічний згин на маятниковому копрі, визначаючи питому потенційну енергію руйнування шву ударом;
- розтягування зразків металу зі швом посередині робочої довжини до розриву, визначаючи при цьому стандартні показники пластичності та міцності, тобто межі плинності  $\sigma_{пл}$  і міцності  $\sigma_B$ , відносне видовження  $\delta$ , відносне звуження  $\psi$ , твердість за Роквеллом або по Брінелю.

Обов'язковим при визначенні зварюваності є також визначення макро- і мікроструктури металу швів, при цьому визначають величину (бальність) зерен, кількість і величину неметалевих включень, характер мікроструктури (фазовий стан металу, наявність перегрівання, не проварювання, піднагартування, газових включень), суцільність шву на відсутність чи наявність пор, раковин, тріщин. Наведеним комплексом властивостей швів та параметрів їх макро- і мікроструктури зварюваність металу визначають як задовільну чи незадовільну.

Зварені шви труб випробовують відповідно стандартам або технічним умовам, при цьому обов'язкові гідравлічні випробування під великим внутрішнім тиском. Шви магістральних трубопроводів і шви труб цього призначення контролюються на суцільність неруйнівними методами, наприклад ультразвуком або рентгеновипромінюванням.

Таким чином, чим більший вміст вуглецю, тим гірша зварюваність вуглецевої сталі, а технологія зварювання найбільш складна і процес протікає зі складнощами і утрудненнями. Пояснюється це тим, що майже всі елементи рідкого розплаву на поверхні зварювальної ванни активно взаємодіють з киснем по реакціям:



Забруднення металу шва окислами Fe, SiO<sub>2</sub> і MnO і більш складними шлаковими включеннями призводить до зменшення пластичності та міцності

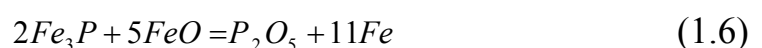
швів. Гази CO і CO<sub>2</sub> випаровуються аж до моменту кристалізації, що може призводити до пористості шва. Пористість в швах можлива і при взаємодії водню з рідким металом. До того ж водень збільшує схильність металу в зоні зварювання до створення холодних тріщин в шві. Розвиток названих дефектів пов'язаний зі зменшенням розчинності водню в сталях при зменшенні температури в процесі охолодження. Головні джерела водню – атмосфера і волога, причому гідратована волога може надходити із захисного газу при зварюванні в нейтральній атмосфері.

Азот також призводить до створення пор у швах і до того ж підвищує схильність металу в швах до старіння, яке зменшує пластичність і міцність швів. Пористість і старіння також пов'язують зі зменшенням розчинності азоту в сталі при охолодженні зварювальної ванни.

При неминучій присутності вуглецю особливо позначаються на якості швів вміст сірки та фосфору, які при недопустимих співвідношеннях S/P і P/C призводять до створення кристалізаційних тріщин. Шкідливий вплив сірки тим більший, чим більший вміст в сталі вуглецю, по пояснюється розширенням температурних інтервалів крихкості та підвищенням поверхневої активності сірки зі збільшенням концентрації вуглецю. Для запобігання створенню кристалізаційних тріщин для кожної марки вуглецевої сталі зі збільшенням вмісту вуглецю обмежують вміст сірки. Крім того, при розкисленні зварних вуглецевих і низьколегованих сталей додають марганець, який звужує температурний інтервал крихкості та полегшує десульфачію сталі за протікання реакції:



Сполука MnS, будучи легкоплавкою, впливає в шлак (грат) шва. Дефосфачія сталі при зварюванні в зоні шва можлива за протікання реакції:



Але для всіх марок вуглецевих і низьколегованих сталей для прокатки товстих листів, які потім використовують для виробництва металевих конструкцій зварюванням мінімізують вміст сірки і фосфору.

зварюваність вуглецевих конструкційних сталей визначається вмістом вуглецю [5], в залежності від чого їх поділяють на три групи (табл.1.5)

Таблиця 1.5 Групи конструкційних вуглецевих сталей за зварюваністю

Група	Вміст вуглецю, %	Зварюваність та зварювання
1- мало вуглецеві	$\leq 0,25$	Добра, без ускладнень
2 – середньо вуглецеві	0,26 - 0,45	Задовільно, з деякими ускладненнями
3 – багато вуглецеві	0,46 - 0,90	Найгірша, з ускладненнями

Попереднє визначення зварюваності легованих сталей проводять за вуглецевим еквівалентом [5]:

$$C_{ек} = C + Mn/6 + (Cr + Mo + Va)/5 + (Ni + Cu)/5 \quad (1.7)$$

де C, Mn, Cr, Mo, Va, Ni, Cu - місткість відповідного елемента в сталі у відсотках.

Чим менше значення  $C_{ек}$ , тим краще зварюваність сталі.

В роботі [4] вуглецевий еквівалент для вуглецевих сталей пропонується визначати по співвідношенням:

$$C_{ек} = C + Mn/6 + Si/24 + (Cr + Mo)/10 + (Ni + Cu)/15 \quad (1.8)$$

або:

$$C_{ек} = C + Mn/16 + Si/43 + Mo/22 + (Ni + Cr)/28 \quad (1.9)$$

В роботі [6] для низьколегованих зміцнених (двофазних) сталей запропоновані критерії зварюваності (weldability) за тріщиностійкістю  $W_1$  і  $W_2$ :

$$W_1 = C + Si/30 + Mn/20 + 2P + 45 \leq 0,224 \quad (1.10)$$

$$W_2 = C + 0,64P + 1,91S \leq 0,153 \quad (1.11)$$

Із (1.10) та (1.11) очевидно, що в низьколегованих сталей для товстих листів, призначених для зварювання трубопроводів, котлів, конструкцій мостів, платформ морського буріння, корпусів суден і тому подібних конструкцій вміст домішок сірки і фосфору має бути мінімальний.



Останнім часом широке застосування для прокату товстих листів, призначених для зварювання труб і магістральних трубопроводів, мають низьколеговані сталі з мікродобавками (мікролегування) ванадія (0,05 - 0,1 %), ніобія (0,13 – 0,10 %), титана (0,002 - 0,01 %), молібдена (0,2 - 0,4%) та інших легуючих компонентів. До нових відносяться також сталі марок 09Г2СФБ, 16Г2АФ, 18Г2АФПС, 17Г2СФБ, 17ХГ2САФ, які додатково леговані азотом, що покращує зварюваність та збільшує ударну в'язкість.

Особливу групу товстолистової продукції складають дво- і багат шарові листи, кожен шар яких – це різні метали, сталі або сплави. Кожен шар має специфічне призначення, наприклад, у біметалів (двошарових листів) основний шар більшої товщини виконує силову функцію, тобто забезпечує загальну міцність листа і конструкції. Основний шар, як правило, дешевий матеріал, у більшості випадків це вуглецева сталь. Другий більш тонкий шар (плакуючий) виконує спеціальну функцію і представляє собою метал, сталь або сплав зі спеціальними властивостями, наприклад, високою корозійною стійкістю, зносостійкістю, низьким коефіцієнтом тертя та ін. Товщина плакуючого шару 2-50% від загальної товщини біметала.

Найбільш поширені в біметалах поєднання наведені в табл.1.6.

Табл.1.6 Основні поєднання матеріалів в біметалах

Основа	Плакуючий шар	Матеріал
Вуглецева сталь	Нержавіюча сталь	Нержавіючий біметал
Вуглецева сталь	Ножова сталь, наприклад, ХВГ	Самозаточувана сталь для ножів землерійних машин
Вуглецева сталь	Бабіт	Вкладники підшипників
Низьковуглецева сталь	Інструментальна сталь	Матеріал для ріжучих інструментів
Сталевий дріт	Алюмінієва пудра	Дроти для високовольтних ліній передач струму

В кольоровій металургії сталеву основу плакують міддю, нікелем та їх сплавами. Дюралюміній, який має високу міцність в той же час не має корозійної стійкості, плакують листами-планшетами із чистого алюмінію, що має надзвичайну атмосферну корозійну стійкість. Біметал ДAl+Al називається алькледом і застосовується в авіабудуванні.

#### **1.4 Сталі і сплави холодної прокатки штаб і листів**

Головною особливістю розвитку металопркатного виробництва є безперервно-послідовне зростання частки холоднокатаних листів в загальному об'ємі тонколистової металопродукції. При цьому постійно покращується якість листів, включаючи і розробки по оптимізації хімічного складу сталей.

На сучасних листових станах порулонної і нескінченої холодної прокатки виробляють штаби в основному товщинами 0,40 - 2,00 мм і ширинами 1000 - 2350 мм. Причому для штаб меншої товщини зменшують і їх ширину. Наприклад, штаби товщинами 0,40 - 0,70 мм прокатують з шириною 1000 - 1300 мм.

Відповідно сортаментного держстандарту 19904 на холоднокатану листову сталь товщина листів складає 0,50 - 5,0 мм і ширина 500 мм.

Широке застосування мають листи таких груп:

1. Конструкційна тонколистова сталь із вуглецевих сталей звичайної якості та якісних і високоякісних марок сталей, товщиною 0,5 - 2,0 мм.
2. Листи для покрівлі із низьковуглецевих, так званих «м'яких» сталей марок 05кп і 08кп товщинами 0,40 - 0,80 мм;
3. Декапірована листовая сталь товщинами 0,25 - 2,0 мм. Її прокатують із низько вуглецевих сталей звичайної якості. Листи поставляють у відпаленому стані після світлого рекристалізаційного відпалу.

Хімічний склад сталей груп 1, 2 і 3 наведено в п.1.2 (табл. 1.1, 1.2 і 1.3).

На реверсивних одноклітьових станах прокатують низьколеговані конструкційні сталі, хімічний склад деяких із них наведено в табл. 1.4. На таких же станах з клітьми Сандзіміда (двадцятивалкових) прокатують і леговані сталі спеціального призначення, наприклад, жаро- та корозійностійкі, які охарактеризовані в п.1.2.

Особливу групу складають холоднокатані штаби і листи із електротехнічних сталей, які призначені для виготовлення електричних машин, трансформаторів, електротехнічних приладів. Ці сталі повинні мати мінімально низьківатні утрати (утрати на гістерезис) і високу магнітну індукцію. В залежності від вмісту кремнію електротехнічну сталь поділяють на чотири групи (табл. 1.8).

Таблиця 1.7 Групи електротехнічної сталі

№ групи	Група	Вміст Si, %
1	Слабологована	0,80-1,80
2	Середньологована	1,81-2,80
3	Підвищенолегована	2,81-3,80
4	Високолегована	2,81-4,80

При вмісті в сталі кремнію більше 3,5%, метал під час холодної прокатки має недостатню пластичність, яку підвищують термообробкою вихідних гарячекатаних і проміжних холоднокатаних рулонів стопами в муфельних печах.

На реверсивних станах прокатають холоднокатану текстуровану трансформаторну сталь марок E310, E320, E330, E330A, E330AA, E340, E370 і E380 для поставок її в листах і в рулонах товщинами 0,5; 0,35 і 0,20 мм при ширині  $\leq 1000$  мм. В рулонах поставляються штаби марок E340, E350, E360 і E360A товщиною 0,2 - 0,05 мм різної ширини. Як видно, марки холоднокатаної текстурованої трансформаторної сталі позначаються буквами і цифрами. Перша буква E значить, що сталь є електротехнічною, перша цифра відповідає вмісту в сталі кремнію у дів сотках, друга цифра – гарантовані магнітні властивості,

третя цифра, а саме нуль означає що сталь є холоднокатаною і текстурованою. Букви А після цифр зазнають особливо низькі питомі утрати на гістерезис. Магнітні властивості електротехнічної листової сталі регламентується держстандартом 21427.0. Магнітні властивості визначаються вмістом в сталі кремнію і вуглецю. Чим більше вміст кремнію, тим вище питомий електричний опір, що призводить до зниження утрат на вихорові струми (струми Фуко). Крім того, збільшення вмісту кремнію сприяє утворенню крупнозернистої мікроструктури і текстури, що також покращує магнітні властивості. Але з іншої сторони збільшення вмісту кремнію більше 3,5% призводить до нищівного зменшення пластичності та прокатуваності трансформаторної сталі.

На електромагнітні властивості трансформатної сталі суттєво впливають вміст вуглецю, сірки, кисню, водню та азоту. Ці домішки, особливо вуглець зменшують магнітну індукцію та збільшують ватні витрати. Зменшення сірки досягають десульфациєю сталі під час її виплавки. Зменшення кількості газів, а саме  $O_2$ ,  $H_2$  і  $N_2$ , досягають вакуумною обробкою розплаву сталі в ковшах та під час розплавки. Вміст вуглецю нижче 0,001% досягають обезвуглецюванням штаб в процесі їх термообробки в безперервних вакуумних печах.

Більша частина холоднокатаних листів із маловуглецевих сталей призначені для холодної штамповки автокузовних деталей, наприклад, капотів, кришки багажника, дверцят, покрівлі та інших панелей корпусів автомобілів.

Листи для емалювання називають декапір, який прокатують із маловуглецевих сталей 05кп - 08кп або напівспокійних сталей 05нс - 08нс.

Холоднокатані листи із маловуглецевих сталей киплячої 08кп, напівспокійної 08нс та стабілізованих алюмінієм 08Ю або ванадієм 08Фкп призначені для виготовлення панелей автомобільних кузовів холодною штамповкою і поставляються відповідно до вимог держстандартів 1050 і 9045, якими регламентується хімічний склад сталей та вимог щодо механічних і технологічних властивостей, а також по мікроструктурі. Хімічний склад автолистових сталей наведено в табл. 1.8.

Таблиця 1.8. Хімічний склад низьковуглецевих автомобільних сталей (холоднокатаний автолист)

Стандарт	Призначення	Вміст елементів								
		C	Si	Mn	<S	<P	Al	V	<Cr	<Ni
1050 (08кп, 08нс)	Глибока витяжка (ГВ)	0,05-0,11	<0,03	0,25-0,50	0,04	0,04	-	-	0,10	0,25
	Вельми глибока витяжка (ВГВ)	<0,06	<0,03	<0,4	0,04	0,035	-	-	0,10	0,25
9045 (08Ю,08Фкп)	ГВ і ВГВ	<0,08	-	0,30-0,45	0,03	0,02	-	0,02 - 0,04	-	-
	ВГВ, СВ, ОСВ, ВОСВ	<0,08	-	0,30-0,45	0,03	0,02	0,02 - 0,07	-	-	-

Із табл. 1.8 видно, що по стандарту 1050 прокатують киплячу 08кп і напівспокійну 08нс сталі з поставками цього автолиста за двома групами витяжки глибокої (ГВ) і вельми глибокої (ВГВ). По стандарту 9045 поставляються сталь стабілізована алюмінієм 08Ю або ванадієм 08Фкп п'яти груп витяжки: глибокої (ГВ), вельми глибокої (ВГВ), складної (СВ), особливо складної (ОСВ) і вельми особливо складної (ВОСВ). В цих же стандартах наведені норми механічних і технологічних властивостей: границі текучості  $\sigma_m$ , границі міцності  $\sigma_e$ , величина їх співвідношення  $\sigma_m/\sigma_e$ , твердість по Роквеллу HRB та відносне видовження  $\delta$ , глибина видавлювання лунки (норма Еріксена) для товщин 0,2; 0,3; 0,4; 0,5.....; 2,0 мм.

Холоднокатані листи декапірованої сталі поставляються з властивостями по стандарту 914, яким гарантуються величини  $\sigma_e$ ,  $\delta_{10}$  та щодо проби Еріксена. Ці норми наведені в табл. 1.9.

Таблиця 1.9. Механічні властивості листової холоднокатаної сталі для холодної штамповки деталей автокузовів та декапіру

Стандарт	Марки сталі	Призначення	Механічні властивості				Твердість HRB 30/100
			$\sigma_T$ , МПа	$\sigma_B$ , МПа	$\delta_{10}$ , %	$\sigma_T/\sigma_B$	
9045*	08Ю	ОСВ	<200	260-330	>44	<0,60	<45
	08Ю 08Фкп	СВ і ВГВ	<210	260-340	>42	<0,70	<48
914**	05кп	ВГВ	-	260-360	>34	-	-
	08кп	ВГВ	-	260-380	>34	-	-
	08нс	ГВ	-	280-380	>32	-	-
	10кп	ГВ	-	280-420	>30	-	-

\* по стандарту 9045 листи і штаби поставляють після дресировки;

\*\* по стандарту 914 листи і штаби поставляють після відпалу.

Декапір по стандарту 914 замовники отримують після відпалу тому, що листи із киплячих сталей 05кп, 08кп і 10кп в дресированому стані старіють, тобто змінюють свої властивості протягом зберігання (нестабільність в часі). Для порівняння в табл. 1.10 наведено хімічний склад маловуглецевого автолиста деяких країн.

Порівнюючи дані таблиць 1.8 і 1.10 можна зробити висновок, що імпортуемі сталі мають більший вміст алюмінію в середньому по нижній межі на 0,04%, по верхній на 0,03%, тобто ці сталі нестаріючі в більшому ступені ніж автолист вітчизняних підприємств. Необхідно зазначити, що дека пір і автолист металургійних підприємств також дещо відрізняється за хімічним складом, що ілюструється даними по двом комбінатам (табл. 1.11).

Із порівняння даних табл. 1.8; 1.10 і 1.11 видно, що вітчизняні виробники листової нестаріючої сталі 08Ю (стабілізована алюмінієм) регламентують вміст вуглецю, мангану та сірки в менших межах, а також контролюють вміст міді обмежуючи її вміст величиною 0,15%, а по стандарту 1050 – 0,25%.

Таблиця 1.10. Хімічний склад імпортного автолиста холоднокатаного прокату

Країна-виробник	Вміст елементів, %					
	C	Si	Mn	P	S	Al
Франція	0,05-0,08	0,02-0,07	0,25-0,35	0,010-0,020	≤0,023	0,05-0,09
	0,05-0,08	0,02-0,07	0,33	0,020	0,023-0,030	0,03-0,05
Бельгія	0,05	0,02-0,07	≤0,38	0,010-0,020	≤0,025	0,03-0,05
Італія	0,07-0,10	0,02	0,30-0,45	0,010-0,020	0,020-0,030	-
ФРН	0,05-0,08	0,05	0,27-0,33	0,010-0,020	≤0,025	0,6-0,10
США	0,07-0,08	-	0,30-0,42	0,009-0,012	0,023-0,035	0,06-0,10
Англія	0,05-0,09	-	0,27-0,34	0,006-0,020	0,020-0,030	0,09-0,15

Окрему групу холоднокатаної продукції складають стрічки і штаби сталеві основи під покриття оловом, цинком, алюмінієм, свинцем, хромом і полімерними матеріалами. Стрічки із маловуглецевих сталей 08кп або 08нс, яка покрита оловом називається жерстю, яка призначена для виготовлення пакувальної тари для довготермінованого зберігання харчових продуктів, наприклад консервних банок. Стальна основа покрита цинком (оцинковка) є покрівельним матеріалом. Стальна основа оцинковки також прокатується із маловуглецевих сталей 08кп, 08нс, 10кп, 1кп, 1нс.

Розширюється виробництво тонколистової сталі з неметалевими покриттями. Якщо сталева основа покрита пластиковими матеріалами, наприклад клеєм і плівкою ПВХ30 або рідкими затвердіваючими гідропастизолями, матеріалах називають металопластом. Для декоративного покриття використовують фарби і лаки. Останнім часом виробляються штаби з подвійним покриттям: металевим і полімерним.

Таблиця 1.11. Хімічний склад холоднокатаної маловуглецевої автолистової сталі вітчизняних виробників

Сталь	Вміст елементів, %								
	C	Mn	Si	P	S	Ni	Cu	Cr	Al
				не більше					
Комбінат «Запоріжсталь»									
08кп (ВГВ)	0,05-0,08	0,30-0,43	0,03	0,020	0,025	0,10	0,15	0,10	-
08кп (ОВГВ)	0,05-0,07	0,30-0,43	0,01	0,020	0,023	0,10	0,15	0,03	-
08пс (ВГ)	0,05-0,08	0,25-0,43	0,03	0,040	0,030	0,25	0,15	0,10	-
08Ю (ОСВ)	0,05-0,07	0,25-0,35	0,01	0,020	0,025	0,10	0,15	0,03	0,03-0,07
Комбінат ім.Ілліча									
08кп	≤0,08	0,32-0,45	0,02	0,025	0,025	0,25	0,15	0,10	-
10кп	≤0,09	0,32-0,45	0,02	0,025	0,025	0,25	0,15	0,15	-
08кп (ГОСТ 1050-60)	0,05-0,11	0,25-0,50	0,03	0,040	0,040	0,25	0,25	0,10	-
08пс (ГОСТ 1050-60)	0,05-0,11	0,25-0,50	0,03	0,040	0,040	0,25	0,25	0,10	-
08Ю (ГОСТ 9045-59)	≤0,08	0,30-0,45	0,01	0,020	0,030	0,10	0,15	0,03	0,02-0,07

Холодною прокаткою виготовляють також листи, штаби і фольгу із кольорових металів та їх сплавів. Найбільшу частку складають листи і штаби із алюмінію марок А00, А0, А1, А2, АД, АД1, та його сплавів із марганцем АМц, марганцем і магнієм АМг та із марганцем, магнієм і міддю Д1, Д16. Останні дві марки називають дюралюмінієм. Особливим видом холоднокатаної продукції є фольга, яку виготовляють із алюмінію марок А00, А0, А1, А2, АД1, АД, де буква Д позначає присутність в алюмінії домішок міді відповідно до 0,1 і до



0,05%. Товщина фольги із алюмінію 0,015 - 0,20 мм. На заводах кольорової металургії прокатуються також листи, штаби та стрічки із міді марок М1, М2 і М9 та її сплавів із цинком (латуні марок Л0 631, Л69, Л68, Л80, Л90), та сплавів із цинком і оловом (бронза марки БрОЦ 4-3) або алюмінієм (бронза марки Бр А5). В невеликих кількостях прокатують також листову продукцію із титана і нікелю та їх сплавів.

### **1.5 Технічні вимоги до листів і штаб**

Технічні вимоги щодо якості кожного конкретного виду листової продукції приводяться у відповідних стандартах або технічних умовах. Національні стандарти розробляються на базі міжнародних стандартів ISO, що дає можливість вільного доступу для вітчизняного прокату на міжнародні ринки металопродукції. Технічні умови розробляються на дослідно-промислові партії металу і носять двосторонній характер між виробником і споживачем прокату. В технічних умовах (ТУ) обумовлюються тільки спеціальні, специфічні або конкретизовані обмеження і нормативи. По узагальненим нормам в ТУ, як правило, посилаються на відповідні стандарти.

Стандарти щодо геометричних параметрів, точності по геометрії відносяться до сортаментних. Основними геометричними параметрами листів і штаб є їх товщина, ширина і довжина, причому довжина при поставці штаб в рулонах, як правило не нормується. Крім розмірів, в сортаментних параметрах наводяться категорії точності та допустимі відхилення розмірів (допуски) відповідно того чи іншого класу точності та розмірному ряду по товщині, ширині і довжині листів. Основними вітчизняними розмірними стандартами для гарячекатаних листів є стандарт 19903, для холоднокатаних - 19904. В якості прикладу в таблиці 1.12 наведено витяг зі стандарту 19903, де наведені допуски по товщині гарячекатаних штаб і листів до товщини 82,0 мм включно.

Таблиця 1.12. Можливі відхилення по товщині гарячекатаної листової та штабової сталі (Допуску по товщині, чи згідно стандарту 19904)

Товщина, мм	Ширина листів або штаб, мм									
	від 500 до 750		від 750 до 1000		від 1000 до 1500		від 1500 до 2000		від 2000 до 2300	
	А*	Б**	А	Б	А	Б	А	Б	А	Б
0,50	±0,05	±0,07	-	-	-	-	-	-	-	-
>0,50 до 0,60	±0,06	±0,08	-	-	-	-	-	-	-	-
>0,60 до 0,75	±0,07	±0,09	±0,07	±0,09	-	-	-	-	-	-
>0,75 до 0,90	±0,08	±0,10	±0,08	±0,10	-	-	-	-	-	-
>0,90 до 1,10	±0,09	±0,11	±0,09	±0,12	-	-	-	-	-	-
>1,10 до 1,20	±0,10	±0,12	±0,11	±0,13	±0,12	±0,15	-	-	-	-
>1,20 до 1,30	±0,11	±0,13	±0,12	±0,14	±0,12	±0,15	-	-	-	-
>1,30 до 1,40	±0,11	±0,14	±0,12	±0,15	±0,12	±0,18	-	-	-	-
>1,40 до 1,60	±0,12	±0,15	±0,13	±0,15	±0,13	±0,18	-	-	-	-
>1,60 до 1,80	±0,13	±0,15	±0,14	±0,17	±0,14	±0,18	-	-	-	-
>1,80 до 2,0	±0,14	±0,16	±0,15	±0,17	±0,16	±0,18	±0,17	±0,20	-	-
>2,0 до 2,20	±0,15	±0,17	±0,16	±0,18	±0,17	±0,19	±0,18	±0,20	-	-
>2,20 до 2,50	±0,16	±0,18	±0,17	±0,19	±0,18	±0,20	±0,19	±0,21	-	-
>2,50 до 3,00	±0,17	±0,19	±0,18	±0,20	±0,19	±0,21	±0,20	±0,22	±0,23	±0,25
>3,00 до 3,50	±0,18	±0,20	±0,19	±0,21	±0,20	±0,22	±0,22	±0,24	±0,26	±0,29
>3,50 до 3,90	±0,20	±0,22	±0,21	±0,23	±0,22	±0,24	±0,24	±0,26	±0,28	±0,31
>3,90 до 5,5	+0,10	+0,20	+0,15	+0,30	+0,10	+0,30	+0,20	+0,40	+0,25	+0,45
	-0,40	-0,40	-0,40	-0,40	-0,50	-0,50	-0,50	-0,50	-0,50	-0,50
>5,5 до 7,5	+0	+0,10	+0,10	+0,20	+0,10	+0,25	+0,20	+0,40	+0,25	+0,45
	-0,50	-0,50	-0,60	-0,60	-0,60	-0,60	-0,60	-0,60	-0,60	-0,50
>7,5 до 10,0	+0	+0,10	+0,10	+0,20	+0,20	+0,30	+0,20	+0,30	+0,25	+0,45
	-0,80	-0,80	-0,80	-0,80	-0,80	-0,80	-0,80	-0,80	-0,80	-0,80
>10,0 до 12,0	+0	+0,20	+0,10	+0,20	+0,20	+0,30	+0,30	+0,40	+0,35	+0,50
	-0,80	-0,80	-0,80	-0,80	-0,80	-0,80	-0,80	-0,80	-0,80	-0,80

А\* - підвищена точність прокатки;

Б\*\* - нормальна точність прокатки.

Із табл. 1.12 видно, що для гарячекатаних листів із сталі передбачені дві категорії точності: підвищена і нормальна. Зі збільшенням ширини і товщини листів поле допусків розширюється, тобто допускаємо відхилення за товщиною збільшуються. Для тонколистової сталі товщиною менше 3,9 мм допуски на плюс і мінус симетричні відносно номінальної товщини, а для листів більших товщини допуск на мінус значно більший відхилень товщини на плюс. Допуски по товщині це вимушена данина процесу прокатки, за якою витримати номінальну товщину, як по довжині, так і по ширині штаб або листів неможливо із-за нестабільності в часі (тобто в процесі роботи стана) практично всіх основних параметрів прокатки. Більш жорсткі обмеження по відхиленням товщини від номінальної тобто зменшені допуски гарантуються стандартами для холоднокатаних листів і штаб, що видно із витягу зі стандарту 3680 (таблиця 1.13).

Таблиця 1.13 Допуски по товщині холоднокатаних сталевих листів, призначених для глибокої витяжки (стандарт 3680).

Товщина листа,мм	Допуск по товщині листа	
	Дуже високої точності	Підвищеної точності
0,2 – 0,4	±0,03	-
0,5	±0,04	±0,05
0,55 – 0,60	±0,05	±0,06
0,70 - 0,75	±0,06	±0,07
0,80 -0,90	±0,06	±0,08
1,0 – 1,1	±0,07	±0,09
1,2	±0,09	±0,11
1,4	±0,10	±0,12
1,5	±0,11	±0,12
1,6 – 1,8	±0,12	±0,14
2,0	±0,13	±0,15
2,2	±0,14	±0,16
2,5	±0,15	±0,17
2,8 – 3,0	±0,16	±0,18
3,2 – 3,5	±0,18	±0,20
3,8 – 4,0	±0,20	±0,22

Для автолистів категорій витяжки ОСВ, СВ, ВОГВ, ОГВ і ГВ при збільшеннях різнотовщинності в процесі холодної штамповки виникають тріщини, викривлення, фестони та інші дефекти. Цим і пояснюється

звуження поля допусків для холоднокатаних листів (табл.1.13) порівняно з гарячекатаними (табл.1.12). Допустимі відхилення листів за розмірами по ширині і довжині від їх номінальних значень гарантуються тільки на плюс, причому величина допуску збільшується зі збільшенням ширини (В) і довжини (L) листів. Наприклад, для холоднокатаних листів призначених для глибокої витяжки мінімальні допустимі відхилення по ширині при  $V \leq 800$  мм;  $V = 1400 - 1600$  мм;  $V > 1800$  мм відповідні дорівнюють +6 мм; +10 мм; +15 мм. Мінімальні допуски по довжині для листів всіх ширин і товщин складають для  $L \leq 1500$  мм — + 15 мм, для  $L > 1500$  мм — + 20мм.

В більшості стандартів на листи із кольорових металів та їх сплавів передбачено тільки одну категорію точності по товщині, причому плюсових допусків немає, введені тільки мінусові допуски.

В процесі прокатки штаб і листів, особливо тонких і широких, утворюються дефекти форми, а саме хвилястість або коробчастість. Тому важливим показником якості плоского прокату є їх площинність (планшетність). Показник планшетності визначають за амплітудою відхилення листа від базової плоскої поверхні еталонної планшетності (таблиця 1.14).

Таблиця 1.14 Стандартні вимоги щодо площинності холоднокатаної листової сталі

Категорія площанності	Максимальні відхилення (амплітуда) від площини (мм) при ширині листів або штаб			
	$\leq 100$	$> 100 - 1500$	$> 1500 - 1800$	$> 1800$
Особлива висока (ПО)	4	5	6	8
Висока (ПВ)	8	8	10	10
Поліпшана (ПП)	10	12	15	15
Нормальна (ПН)	12	15	18	20

Форма листів та штаб характеризується також серпоподібністю, тобто ребровою (кроночно-боковою) кривизною. Максимально допустимою

ребровою кривизною в 3 мм на 1м довжини ля листів або 10 мм на 3 м довжини штаби.

Вимоги щодо хімічного складу листових сталей для гарячої і холодної прокатки також стандартизовані і розглянуті в п.1; 1.2; 1.3 і 1.4. В більшості цих стандартів наведені нормативи по механічним та технологічним властивостям вуглецевих сталей відповідно групам витяжки в процесах холодної штамповки (див. табл.1.8).

Механічні та технологічні властивості деяких легованих листових сталей, для прикладу наведені деякі в таблиці 1.15.

Таблиця 1.15. Механічні властивості, твердість по Брінелю (НВ) та ударна в'язкість КС легованих сталей після термічної обробки (гартування в маслі), (норми по стандарту 4943).

Марка сталі	Температура загартування,С	Температура відпуску,С	Механічні властивості					НВ, од
			$\sigma_B$ , МПа	$\sigma_T$ , МПа	$\delta_5$ , %	$\psi$ , %	КС Дж/м <sup>2</sup>	
35 СГ	900	590	850	650	15	40	60	230
20ХН	840	-	800	600	10	50	80	200
12ХН2А	860	200	800	600	10	50	90	210
20ХН3А	820	500	950	750	10	55	100	240
12Х2Н4А	880	200	1100	850	10	50	90	240
25ХГСА	880	520	800	600	10	40	60	220
30ХГСА	880	520	1100	850	10	45	50	230
15Х	860	200	700	500	10	50	80	180
54Х	840	500	1050	850	8	40	50	230
20Х3	860	200	1100	900	8	50	80	220
15ХФ	860	200	750	550	10	50	80	190

Листи, штаби і стрічки з кольорових металів та їх сплавів виробляються трьох ступеней за твердістю:

- М'які (після повного відпалу);
- Напівтверді (напів нагартвані, напів відпал);

- Тверді (нагартовані без відпалу).

Для деяких видів листів із сплавів кольорових металів передбаченна додаткова ступінь – особливо тверді.

Окрім вище наведених вимог загального характеру окремими стандартами або окремими підрозділами в стандартах до окремих видів листової продукції спеціального призначення встановлюються особливі специфічні вимоги. Так листи із нержавіючих корозійностійких сталей випробовують на поміжкристалітну та інтеркристалітну корозію. Листи із електротехнічних сталей випробовують для визначення електричних і магнітних властивостей. В листах із середньовуглецевих сталей визначають глибину обезвуглецювання, яка відповідно до вимог стандартів не повиненна перевищувати 25% на сторону, а в сумі, тобто на дві поверхні, бути не більшою 4% від фактичної товщини листа. В деяких стандартах на технічні умови, наприклад в стандарті 9045, який розроблено для автолиста, обумовлені вимоги щодо мікроструктури, наприклад зерна ферита та ін.

### **1.6 Якість поверхні плоского прокату**

Якість поверхні листів, штаб і стрічок є лицем рівня технічної культури металургійного виробництва та показником конкурентоспроможності плоского прокату на ринку металів. Виходячи з цього, щодо якості листів і штаб пред'являються спеціальні вимоги про недопустимість на поверхні таких дефектів як тріщини, вм'ятини, пузирів, подряпин, вкатої окалини та ін. Дефекти поверхні не тільки погіршують зовнішній товарний вигляд листів і штаб, але ще й знищують механічні і технологічні властивості металу. Наприклад, навіть невеликі тріщини, вм'ятини, подряпини і т.п. є концентраторами напружень в процесі глибокої або складної витяжки металу під час його холодної штамповки, що може привести до поривів на відштампованих панелях.

Дефекти поверхонь поділяють за походженням на металургійні і прокатні. При цьому деякі дефекти можуть утворюватись по причинам

порушень технології, як в процесах виплавки і розливки сталі, так і при нагріві металу в прокатних цехах, що призводить до розбіжностей при визначенні винуватців дефектування металопродукції. Для зникнення цих суперечок важливе значення мають стандарти 20847 і 21014, які класифікують різні дефекти поверхні листів і штаб. Характер і причини утворення різних дефектів на поверхні плоского прокату у відповідності до вимог вищевказаних стандартів будуть розглянуті в розділі 2. На деяких видах листової продукції, наприклад на товстих листах, допускається зачистка дефектів, причому перехід від первинної поверхні до місця зачистки має бути плавним. Глибина зачистки не повинна виводити листи за межі мінусового допуску по товщині.

По якості поверхні сталеві листи і штаби поділяють на чотири групи:

1. Особливо високої якості;
2. Високої якості;
3. Поліпшеної якості;
4. Звичайної якості.

На поверхні листів і штаб першої групи якості поверхні допускаються окремі короткі рисочки довжиною не більше 20 мм, окремі невеликі ділянки різної тональності без різкої зміни кольорів виражених кордонів поміж ними. Зовсім не допускаються на поверхні першої групи якості плями і цятки корозії (іржі), різнокольоровості від окиснення та плями пригарів залишків технологічного мастила (наліт іржі). Ці ж дефекти не допускаються і на холоднопрокатних листах і штабах другої групи за якістю поверхні, особливо на лицьовій (верхній) поверхні. Для листів і штаб другої, третьої і четвертої груп поступово вимоги щодо якості поверхні регламентуються не так жорстко. Холоднокатані листи і штаби в основному виготовляють з групами якості поверхні 1 і 2, в окремих випадках 3 групи. Гарячекатані листи і штаби виготовляються з групами якості 3 і 4 і можлива їх поставка у непротравленому стані. На непротравленій поверхні листів і штаб допускається наявність тонкого невіддільного шару окалини, який не заважає виявленню поверхневих дефектів.

В залежності від якості поверхні автолистова холоднокатана сталь за станом поверхні відповідно вимогам і стандартам поділяється на три групи:

1) На лицьовій стороні листа поверхневі дефекти не допускаються, на протилежній (нижній) поверхні допускається загальне ряботиння, легкі подряпини в межах четверті мінусового допуску.

2) На лицьовій стороні в межах половини допуску на товщину листа допускається легке ряботиння, легкі короткі подряпини, на протилежній поверхні додатньо допускаються також легкі надави від валків і пористість.

3) На лицьовій поверхні допускаються в межах половини допуску на товщину листа загальне ряботиння, легкі подряпини та риси, легкі надави від валків. На протилежній стороні допускаються ті ж самі дефекти але на глибину в межах мінусового допуску. Автолистова сталь марок 08кп, 08Фкп і 08Ю поставляється за управами стандарта 9045 для груп витяжки ВГВ, СВ, ВСВ, ВОСВ поставляється з вимогами до обробки поверхні відповідно груп 1 і 2, причому для зовнішніх панелей кузовів тільки група 1.

Для холоднокатаних листів і штаб відповідно вимог стандартів 16523 і 9045 передбачена можливість (за вимогами споживана, наприклад, автозаводу) поставки плоского прокату шерхлою (матовою) поверхнею. Це обумовлено тим, що стан мікротопографії поверхні впливає на механічні та технологічні властивості, а також на штампуємость сталі, на міцність схоплення покриття зі сталлюю основою. Шорсткість (матовість) також покращує товарний вид листової продукції. Причому стандартами 16523 і 9045 передбачається можливість поставки листів, що мають нормовану шорсткість. В цих випадках поверхня повинна мати шорсткість в межах  $R_a = 0,8-1,6$  мкм, а кількість мікровиступів не менше 50 на 1 см вимірюваного профіля. Оптимальна шорсткість листів і штаб із конструкційних сталей без гарантування показників мікрогеометрії їх поверхні знаходиться в межах  $R_c = 1,0-2,5$  мкм, для цинкування гарячим і електролітичним методом  $R_m = 0,6 - 1,0$  мкм, для листів з наступним емалюванням (декапір)  $R_a = 1,0 \dots 1,7$  мкм. Для



виробництва жерсті поверхня стрічок повинна мати мінімальну шорсткість  $R_a=0,2-0,5$  мкм.

Високу якість і конкурентоспроможність товарних листів і штаб можливо забезпечити тільки за використання систематичного контролю, починаючи від вхідного – для перевірки якості сировини, палива і покупних напівфабрикатів і закінчуючи кінцевим – для сертифікації товарного прокату на відповідність вимогам і нормам стандартів і ТУ. На металургійних підприємствах діють відділи технічного контролю (ВТК), які проводять вхідний плавочний, технологічний і кінцевий контроль.

Плавочний контроль проводиться в сталеплавильних цехах. При цьому визначають хімічний склад і марку сталі методом експрес-аналізів і призначають плавку на прокатку для виконання конкретного заказу споживачів.

Контроль технологічного процесу - має за мету забезпечити високу якість прокату в процесі виробництва.

Кінцевий контроль має за мету відбір проб, виготовлення зразків, їх випробування, сортування, упаковку, маркування та сертифікацію листів і штаб на відповідність норм стандартів або технічних умов.

### *Контрольні питання*

1. Охарактеризуйте основні схеми виробництва листів та штаб.
2. Яка сталі і сплави використовуються для гарячої прокатки листів і штаб?
3. Які сталі використовуються для прокатки біметалевих листів?
4. Сталі і сплави для холодної прокатки штаб, їх характеристика.
5. Дефекти поверхні холоднокатаних листів.
6. Які технічні вимоги висуваються до прокатної продукції.
7. Вплив легуючих елементів на процеси прокатування.

## 2 ВИРОБНИЦТВО СЛЯБІВ

### 2.1 Зливки маловуглецевих киплячих сталей і сплавів кольорових металів

Сталевий зливочок – кристалічне тіло, отримане в процесі охолодження та кристалізації розплавленої сталі, залитої у виливницю. Зливки мають неоднорідності по щільності, наявності неметалевих домішок, хімічному складу та будові. Ці неоднорідності можуть бути фізичними, кристалічними та хімічними. Всі види неоднорідностей погіршують якість сталей і готових листів та штаб. До фізичної неоднорідності відносять усадкові роковану та трухловість, газові пухирі та неметалеві включення. Кристалічна неоднорідність виникає із-за неоднорідності та різних умов охолодження. Так, твердіння розплаву сталі розпочинається на контакті з холодними стінками виливниці, де утворюється тверда кірка із невеликих кристалів. При цьому рідка сталь мігрує в центральну зону зливка, що призводить до утворення великорозмірних (дендритних) кристалів орієнтованих від кірки до центра зливка. Несталості кристалізації на висоті і поперечним перерізом супроводжується хімічною неоднорідністю. Так легкоплавкі сполуки сірки, фосфору і рідина збагачена вуглецем мігрують, а то й витісняються затверділою периферією в центральну зону зливка в результаті чого виникають явища ліквідації та сегрегації С, S, P та більш складних сполук.

Маса злиwkів для прокатки слябів складає 20 - 30 тон для прокатки товстих листів і плат товщинами > 60 мм – до 60 -100 т. У всіх випадках листові зливки мають плоску форму прямокутника із співвідношенням більшої та меншої сторін (ширини і товщини) 2 - 3 і більше. Зливки з такою формою перерізів називають плескатими або плюшками.

В кольоровій металургії зливки все ще залишаються основним вихідним (початковим) матеріалом для виробництва слябів, хоча поступово замінюються напівпродуктами, отримуваними безперервною розливкою. В цій галузі використовують зливки невеликої маси, в основному 1 - 2 т. Деякі кольорові

метали і сплави, наприклад латунь з великим вмістом свинцю в гарячому стані мають низьку пластичність. Тому їх піддають тільки холодній прокатці. Листи і штаби отримують безпосередньо із зливків товщиною 25 – 60 мм невеликої маси, а саме 100 кг і навіть менше.

Як уже зазначалось основним матеріалом для масового виробництва штаб і листів є низьковуглецеві сталі. Найбільш поширені в масовому виробництві тонколистового прокату є киплячі (05кп, 08кп, 1кп, 2кп, 10кп), напівспокійні (08нс, 1нс, 2нс, 3нс), стабілізовані ванадієм (08Фкп) або алюмінієм (08Ю) нестаріючі сталі.

Розглянемо особливості та якісні параметри зливків киплячої, напівспокійної і нестаріючих (08Фкп, 08Ю) сталей.

Кипляча сталь в печі і ковші розкислюється не повністю, що призводить до попадання частини кисню (залишок розчиненого в рідкій сталі) у виливниці. У виливниці кисень взаємодіє з вуглецем по реакціях:



Гази  $\text{CO}$  і  $\text{CO}_2$ , спливаючи із розплаву, призводять сталь до кипіння, але повністю не встигають покинути сталь до кристалізації, утворюючи пустоти, так звані стільникові пузирі. Із рис. 2.1 (а і б) видно, що газові пузирі в зливках киплячої сталі розташовані майже впритул до зовнішньої кірки зливка. Це може призвести до виходу пузирів на поверхню, що недопустимо із умов попередження утворення тріщин на слябах. Найкращим способом попередження розкриття пузирів – це отримання зливків з міцною та щільною зовнішньою кіркою достатньої товщини. Для цього сталь не повинна переокислюватись і мати достатньо високу температуру під час наповнення виливниць.

Це забезпечує доволі інтенсивне кипіння у виливницях і перемішування сталі та інтенсивне виділення газів під час твердіння зовнішньої кірки. За міцної кірки пузирі в процесі прокатки заварюються. Перевагами зливків киплячої сталі є, як видно із рис.2.1, а і б, відсутність усадкової раковини, що

зменшує витрати металу в обрізь до 3 – 5 % маси зливка. Крім того, кипляча маловуглецева сталь має найвищу посеред усіх сталей пластичність, тобто без утруднень і з найменшими витратами енергії прокатується, а листи із сталей 05кп, 08кп і 1кп мають добру штампуємість в процесах вельми глибокої витяжки. Недоліками киплячих сталей є периферійне та занадто близьке розташування газових пузирів до зовнішньої кірки зливків, які до того ж ще мають хімічну неоднорідність і значну степінь ліквідації та деградації. Як видно із рис.2.1, а і б для зливків киплячої сталі характерними є п'ять зон:

1 – зовнішня без пузирів щільна кірка, яка складається із рівномірних і рівноосних кристалів;

2 – зона сочових (щільникових) газових пузирів, що мають витягнуту повздовжню форму. Вони спрямовані від кірки до центра зливка. Довжина газових пузирів складає 30 – 70 мм;

3 – щільна зона суцільного кристалічного тіла зливка;

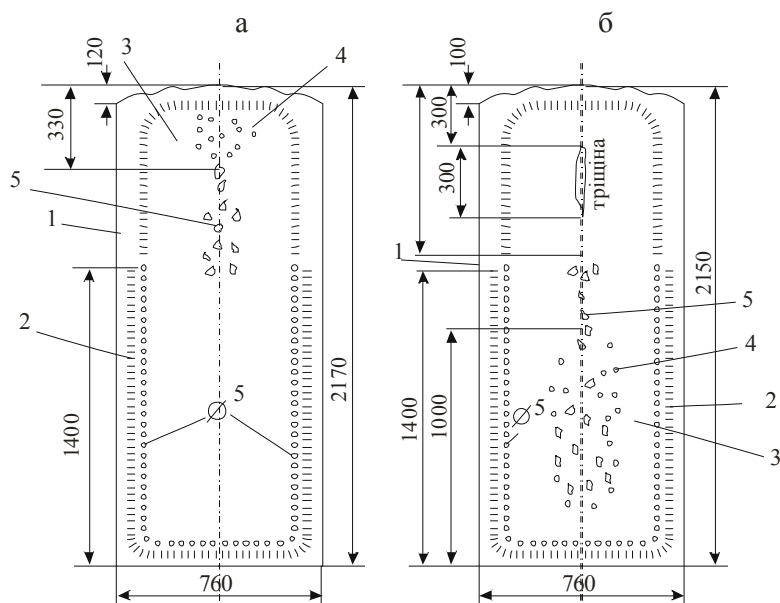


Рис.2.1. Схеми кристалічного злому зливків маловуглецевої сталі масою 18 т: а – сталь 08кп; б – сталь 08кп з доданням 0,2 кг/т феросиліцію. Зони 1- 5 пояснені в тексті. 4 – зона вторинних (глибинних) газових пузирів; 5 – зона осьових (центральных) газових пузирів (серцевина зливка).

Якість зливок киплячої сталі поліпшують замінюючи верхню розливку сталі на розливку сифоном знизу. При середніх швидкостях розливки отримують якісні зливки зі здоровою зовнішньою кіркою достатньої товщини в межах 25 – 35 мм. На деяких підприємствах застосовують розливку киплячої сталі у виливниці пляшкової форми (розширені до верху) з механічним закупорюванням виливниць по їх заповненню кришками.

## **2.2 Зливки напівспокійної маловуглецевої сталі**

Основними марками маловуглецевої напівспокійної сталі є 08нс, 1нс, 2нс, 3нс. Напівспокійна сталь за ступенем розкисленості є проміжною поміж киплячою і спокійною. Порівняно з киплячими, напівспокійні сталі мають якісні хімічну і структурну неоднорідність, зменшується обрізь головної (верхньої) частини зливка, листи по довжині штаб (висоті зливка) мають більшу однорідність за хімічним складом, механічними властивостями і за якістю поверхні. Напівспокійну сталь виплавляють за технологією киплячої сталі з послідуєчим додатнім розкислюванням металу в ковші або у виливницях. Найчастіше в якості розкислювачів використовують кремній (феросиліцій) або алюміній. Розкислювачі вводять в сталь із розрахунку, щоб із зливка в процесі кристалізації виділялось достатня кількість газових бульбашок, а кількість газових пазирів в зливці була обмеженою та рівномірно розосередженою по всьому внутрішньому тілу зливка. При цьому по верхньому дзеркалу не повинно бути увігнутості, тобто поверхня після закінчення кристалізації має бути рівною або краще трішки випуклою. З урахуванням компенсації природного (охолоджувального) усаджування по осі зливка, де кристалізація закінчується найчастіше.

Про ступінь розкислюваності напівспокійної сталі говорить також інтенсивність іскріння на дзеркалі зливка. Якщо іскріння довготривале та інтенсивне з розкриванням верхньої кірки та виливом рідкого метала, то очевидно, що в зливку проходить підвищено інтенсивне газоутворення, тобто сталь недорозкислена. Якщо іскріння погасає одночасно з утворенням на

верхній поверхні кірки, то сталь рахується розкисленою нормально. Якщо сталь переокислена, то кількість газів в розплаві, залитому у виливницю не достатня, поверхня (дзеркало) металу не дає іскріння, а верхня кірка має увігнутість по центру зливка. В зливках переокисленої сталі утворюється зосереджена, глибокозалягаюча усадочна раковина. Напівспокійну сталь з кіркою зливка киплячої сталі (двостонна сталь) отримують, розкислюючи киплячий метал алюмінієвим дробом, який подається через центрову в кінці наповнення (за 100 мм до рівня верха наливання) виливниць.

Для оцінки степені розкислювання напівспокійної сталі алюмінієвим дробом за зовнішнім виглядом головної (верхньої) частини зливка на деяких підприємствах користуються чотирибальною шкалою, сутність якої ілюструється рис. 2.2.

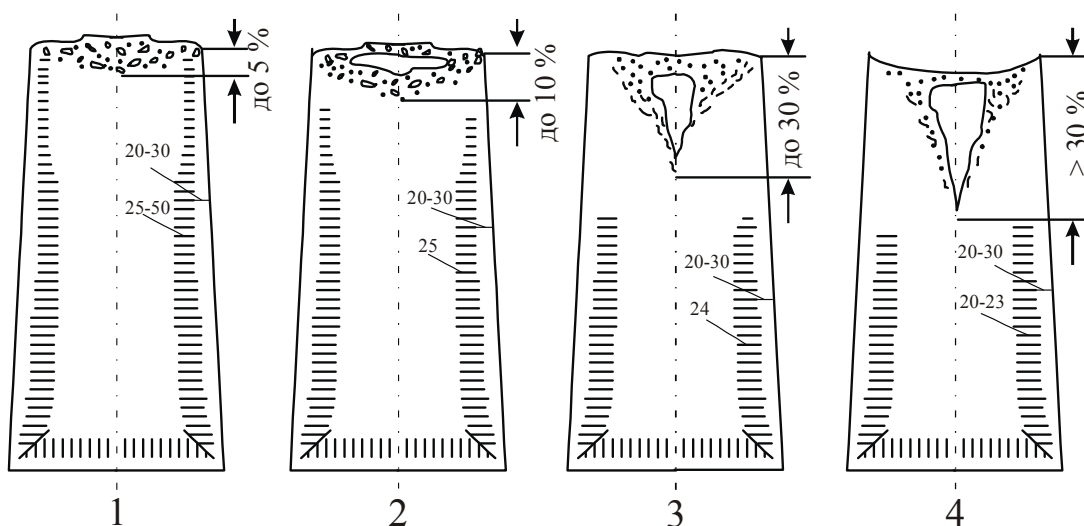


Рис. 2.2. Шкала балів оцінювання степені розкислювання злиwkів напівспокійної сталі алюмінієвим дробом за зовнішнім виглядом верха (головної у стані) злиwkів; (1 - 4 - бали розкисленості пояснені в тексті).

*Балу 1* відповідає нормально розкислений злиwок з помірно опуклою верхньою поверхнею, усадочна раковина відсутня, товщина кірки забезпечує заварювання газових пупирів.

*Бал 2* також відповідає нормально розкисленому злиwку з майже рівною або з трохи випуклою бугристою поверхнею. Нормально розкислені злиwки мають безпупирну кірку зливка киплячої сталі товщиною 20 – 30 мм і

напівспокійну серцевину. В головній частині таких зливоків є рівномірно розподілені великі та малі неокислені газові пузирі (рис. 2.3, а), які під час прокатки заварюються.

*Бал 3* – рівна або бугриста верхня поверхня зливка відповідає зливку з незначним переокисленням.

*Бал 4* – верхня поверхня увігнута донизу, що відповідає зливку зі значним переокисленням.

За балом розкисленості 3 в зливках з'являється неглибока усадочна раковина, за балом 4 – глибоко залягаюча раковина, яка в окремих випадках супроводжується появою підусадочної трухлявості, що призводить до збільшення головної обрізі на розкатах.

Загальним недоліком киплячої і напівспокійної маловуглецевих сталей є їх схильність до старіння. Сутність старіння полягає в погіршенні пластичності листової сталі під їх транспортування, складування і т.п., тобто з плином часу. Крім того, під час холодної штамповки листа із старіючих сталей на поверхні відштампованих панелей з'являються лінії зсуву (Лінії Людерса), понижена пластичність призводить до браку по розривам металу. Будова зливка маловуглецевої напівспокійної сталі приведена в п.2.3. Із схеми кристалічного злому зливка сталі 08нс (а, на рис.2.3) видно, що газові пузирі сконцентровані в верхній головній частині зливка. Там ще розташована хоча і неглибока, але доволі значна за діаметром усадочна раковина. Указані дефекти під час прокатки не заварюються, тому головна обрізь на зливках напівспокійної сталі значно більше ніж на зливках сталей 09кп, 08кп, 1кп і 10кп. Вихід придатного на слябінгах після прокатки напівпродукту не перевищує 85 – 90 %.

### **2.3 Зливки нестаріючої та спокійної сталі**

Листи і штаби із маловуглецевих спокійних сталей не змінюють своїх магнітних і технологічних властивостей протягом довготривалого терміну часу, що є їх значною перевагою. Таким чином, спокійні сталі є нестаріючими. Під

час виплавки і розливки нестаріючих маловуглецевих сталей в їх розплав вводять алюміній, ванадій, бор, титан, цирконій, ніобій і деякі інші елементи, які мають високу спорідненість з азотом. Використання різних елементів, які зв'язують азот в нітриди, залежить від доступності, наявності та вартості цих елементів.

Деякі із цих елементів одночасно є також ефективними розкислювачами сталі. Наприклад, якщо подати в рідку сталь в ковш або у виливницю алюміній або титан в достатній кількості, то сталь стає повністю спокійною. Умовою повного не старіння, маловуглецевої сталі є утворення в металі стабільних нітридів цих елементів.

Нестаріючі сталі для особливо глибокої або складної витяжки, які розкислені титаном, в основному прокатують на штаби і листи, відштамповані вироби із яких наприклад посуд, ванни і т.п, покривають емаллями.

При виробництві нестаріючих сталей для вельми глибокої та особливо складної витяжки панелей автомобільних кузовів в металі насамперед всього зв'язуються у сполуки елементи, спричиняючи старінню, тобто азот. Найбільш технологічно та економно є використання в листопрокатному виробництві нестаріючої сталі, стабілізованої (спокійної) алюмінієм марки 08Ю. Алюміній має високу спорідненість до азоту, зв'язуючи його в нітриди. Перевага алюмінію також полягає в тому, що його в сталь можливо вводити без утруднень в твердому металевому стані, а не лігатурою, вводити в сталь, причому як у ковш, так і у виливниці.

Сталь 08Ю виплавляють по технології, регламентованої для сталі 08кп вельми глибокої витяжки (ВГД). Розливають сталь сифоном (знизу) у виливниці розширені до низу але без прибуткових надставок. Розкислювати сталь в ковші менш економічно порівняно з розкисленням у виливницях. Після розкислення по кожному із варіантів сталь має бути повністю стабілізована, тобто спокійною. Витрати алюмінію для повної стабілізації складають:

- 17 при розкислюванні в ковші – (1,5 – 2,5) кг/т сталі;
- 27 при розкислюванні у виливниці – (0,9 – 1,2) кг/т сталі.



Очевидно, що другий варіант дозволяє економити алюмінієвий дріб, що має велику вартість.

Крім того при розкислюванні у ковші якість поверхні зливків погіршується по причині налипання окислів алюмінію  $Al_2O_3$ . Поверхня зливків із сталі розкисленої в ковші майже суцільно вкрита невеликими плівками, тому отримані після прокатки на слябінгу розкати необхідно підготувати суцільній вогневій зачистці з видаленням поверхневого шару на глибину 1,5 – 2,5 мм, що призводить до додаткових витрат металу у відходи. На вітчизняних підприємствах сталь 08Ю розкислюють, подаючи алюмінієвий дріб через центрову при рівні розплаву у виливницях за 150 – 200 мм від верха наливання сталі (нижче верха виливниці). Для того щоб сталь не старіла вміст залишкового алюмінію в листовому металі має бути не менш 0,02%. Практично вміст алюмінію в сталі 08Ю знаходиться в межах 0,02 – 0,09%. В зливках сталі розкисленої алюмінієм у виливницях зона щільникових (підкіркових) газових пузирів має обмежений розвиток, а зона вторинних пузирів відсутня повністю, що ілюструється схемами кристалічного зносу зливків напівспокійної (а) і нестаріючої (б) сталей на рис. 2.3. В зливках напівспокійної сталі 08нс (а, на рис.2.3) усадочна раковина не глибока і разом з підусадковою трухлявістю із газовими пузирями залягає на глибину 300 мм. Зливки нестаріючої сталі 08Ю мають концентровану усадочну раковину на глибину до майже 50% висоти зливка (б на рис. 2.3).

Усадочна раковина зливків сталі 08Ю закрита містком і майже повністю заварюється під час прокатки слябів за рахунок високої чистоти металу із-за відсутності газових пузирів. Головна обрізь на розкатах із зливків сталі 08Ю не перевищує 6%. Вихід придатного із зливків сталі 08Ю складає 90%, тобто сягає рівня, що має кипляча сталь.

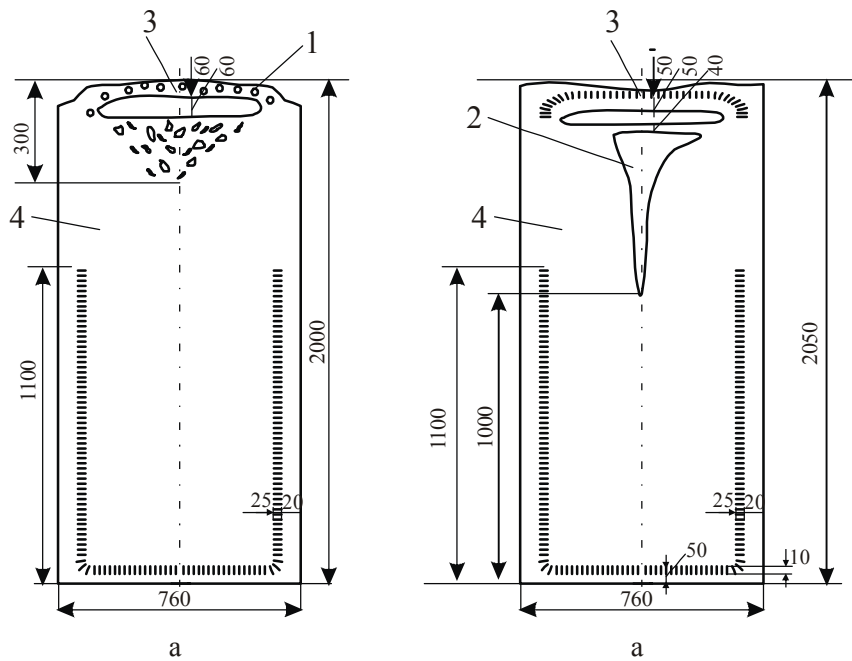


Рис. 2.3. Кристалічний злом (схема) зливка напівспокійної мало вуглецевої сталі 08нс (а) та нестаріючої сталі 08Ю (б): 1 - газові пузири; 2 - усадочна раковина; 3 - місток; 4 - тіло зливка.

Зливки спокійних маловуглецевих сталей мають усадочну раковину, яка виводиться наверх в утеплювач - надставку. Зливки спокійних сталей отримують у виливницях, які розширюються до верху. Нахил бокових граней злиwkів (для полегшення їх роздягання) приймають рівним 3 - 4% (на кожену грань) його висоти. Всі леговані сталі є спокійними, маса їх злиwkів складає в залежності від ступеня легування та фазового класу від 3 до 6 т, іноді до 10 т. Маса злиwkів нержавіючих сталей знаходиться в межах 12 – 18 т. Від ступені легування залежить і величина обрізи (відходів) металa. Так для вуглецевих і низьколегованих сталей вихід придатного в середньому 80%, для середньолегованих 70 - 80%, для високолегованих в середньому 60 - 70%, а для деяких сталей навіть не більше 55%. На рис.2.4 наведено зовнішній вигляд (а) і схему кристалічного злому (повздовжнього перерізу) по широкій грані (б) зливка спокійної нержавіючої сталі 12Х18Н10Т масою 12 т.

Нержавіючі сталі досить поширений матеріал для виробництва гарячекатаних та холоднокатаних штаб і листів. Сталь виплавляють, як більшість, середньо- та високолегованих сталей в електродугових печах.

Розливають слябові широкі зливки у виливниці розширені до верху і накриті зверху теплоізолюваною кришкою – прибутковою надставкою. У прибуткову частину виводиться (піднімається) усадкова раковина і більшість легкоплавких неметалевих (шлакових) включень. Незважаючи на це, широкі грані зливків покриті неметалевими включеннями і плівками. Із схеми кристалічного злому видно, що усадочна раковина разом із залягаючою нижче трохлявістю залягає на 50% висоти зливка. Покращують якість спокійних сталей, особливо легованих, електрошлаковим переплавом, вакуумуванням та іншими сучасними технологіями.

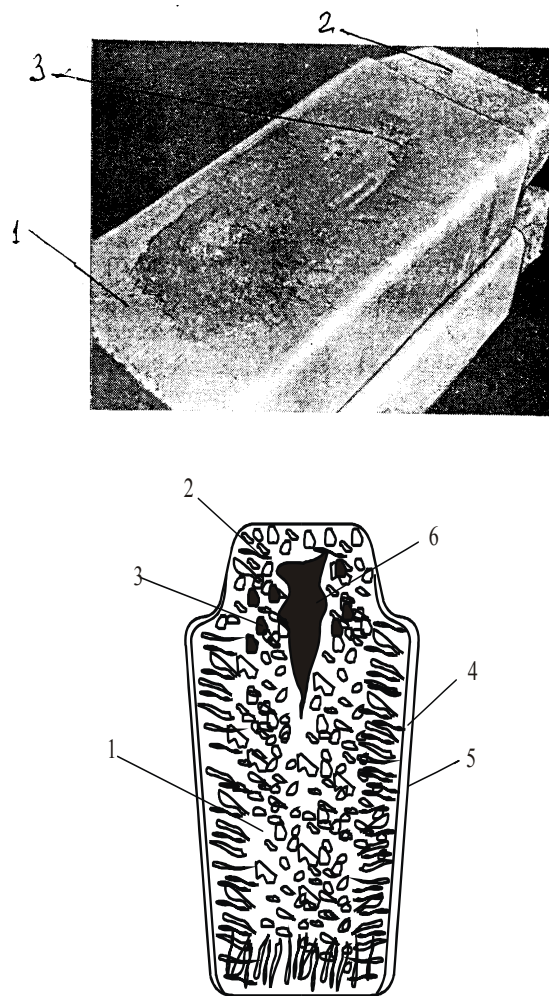


Рис. 2.4. Загальний вигляд (а) та кристалічний злом (б) зливка спокійної сталі 12Х18Н10Т масою 12т: 1 - тіло зливка; 2 - прибуткова частина; 3 - включення і плівки; 4 - кірка; 5 - дендритні кристали; 6 - усадочна раковина.

## 2.4 Дефекти поверхні зливків

В сучасному виробництві різноманітних за розмірами, формою і хімічним складом профілів, листів, штаб і труб в залежності від призначення і якості готових металовиробів в якості вихідних матеріалів, тобто основних ресурсів використовують:

- зливкі поштучної і безперервної розливки;
- безперервно відлиті або катані блюми і штаби;
- відлиті, катані або відковані заготівлі.

Зазначено, що сучасною технологією виготовлення вихідних матеріалів є безперервна машина розливки розплавів в стаціонарні або рухомі кристалізатори. Перші використовують для розливки сталі, другі – в кольоровій металургії. З іншого боку деякі процеси прокатки можливі тільки з використанням зливків штучного виробництва. Наприклад, на товстолистових станах листи і плити великої товщини і довжини прокатуючи із зливків великої маси (декілька десятків тонн), які можливо відлити тільки у спеціальній відливниці.

На заводах якісної металургії процес розливки більшості багато легованих сталей супроводжується утворенням поверхневих і підповерхневих дефектів, які необхідно видаляти. Схильність легованих сталей до дефектоураження до цього часу не дає змогу саме для цих сталей широко застосувати безперервну розливку.

В деяких технологічних процесах прокатки застосовують зливки спеціальної форми, наприклад зливки великої маси для товстолистових станів мають багатогранні з чергуванням увігнутих та опуклих частин.

Стандартні вимоги щодо якості поверхні не допускають наявності поверхневих дефектів, які не тільки псують зовнішній вигляд товарного прокату але ще й знижують механічні властивості, наприклад, міцність і корозійну стійкість металу.

Процес виплавки і розливу сталі, нагріву, прокатки і транспортування зливків, напівфабрикатів і профілів супроводжується створенням дефектів на їх поверхні.

В практиці металургійного виробництва всі дефекти, в тому числі і поверхневі, поділяють на дві групи: а саме сталеплавильного і прокатного походження.

До перших відносять дефекти, що створюються під час виплавки і розливу рідкої сталі, охолодження і кристалізації злитків.

Дефекти другої групи - це вади поверхні, створені під час підігріву, прокатування та інших операцій обробки металу в прокатних цехах. Абсолютно більша частина зливків і безперервно відлитих напівпродуктів гріють перед прокаткою гарячим посадом, що дозволяє використовувати вдруге первинне тепло, витрачене на виплавку металу. Але разом з цим зникає можливість візуального контролю якості поверхні гарячих зливків та заготовок.

Досвід засвідчує, що найбільше число дефектів на поверхні металу створюється під час розливу і охолодження сталі.

До основних дефектів зливків відносять:

*Пліви* – це окисленні кірки металу, які майже не зв'язані з тілом зливка. Причина їх утворення – попадання рідкої сталі на стінки виливниці при плесканні, хлюпанні та розбризкуванні сталі під час її розливки. На поверхні прокату пліви виявляються у вигляді окислених нашарувань металу.

*Тріщини*, які в основному виникають по кутам зливків при розливі перегрітої сталі в результаті різкого перепаду температур під час охолодження металу.

*Волосовини (звивини)* – неглибокі уривчасті тріщини, які виявляються, як правило, на готовому прокаті. Ці тріщини видовжені в напрямку витяжки металу під час прокатки. Головна причина їх утворення присутність в зливках неметалевих включень, таких як шлаки, частинки вогнетривів, окисли і газові бульки.

*Рвання* – місцеві поодинокі розриви металу, видовжені в напрямку прокатки. Характерним для цього дефекту є масові розриви металу по периметру дефекту. Головна причина появи рвання є розлив сталі в виливниці чи кристалізатора МБРС із грубо зношеними внутрішніми поверхніми стінками.

*Розшарування* – порушення суцільності металу особливо в місцях відповідно центральної зони зливка. Вони з'являються при глибокому заляганні усадкових дефектів в зливках, таких як, наприклад, усадкова трухлявість.

*Шпаківниці* – виходячи на поверхню широко розкриті розриви металу. Причина їх появи - прокатка зливків з рідкою серцевиною і тонкою кіркою.

*Раковини* – невеликі лусковидні дефекти, що виникають при розливанні сталі в холодні не розігріті виливниці особливо в зимовий період.

Необхідно застерегти, що деякі із вище означених дефектів можуть з'являться під час нагріву і прокатки металу. Наприклад, при прокатуванні перегрітих зливків з'являються пліви і рвання, прокатка на валках з грубо спрацьованою поверхнею бочок чи калібрів призводить до появи рвання.

Особливо небезпечними для процесів прокатки є розшарування і рідка серцевина в центральній зоні зливка, які на прокатаних слябах мають вигляд міхурів, а при розривах утворюють шпаківні у вигляді розривів і отворів (рис.2.5).



Рис. 2.5 Дефекти, утворювані розшаруваннями (не суцільностями) зливків: а,б – міхур; в – шпаківня.

Якість поверхні зливків покращують, зменшуючи загазованість та забруднення сталі. Під загазованістю розуміють кількість газових міхурів, а під забрудненнями – окисли, сульфіди та інші шкідливі домішки. Рафінування сталі вакуумно-дуговим, електрошлаковим, плазмо-дуговим, електронно-променевих переплавом енергоємна і за вартістю прийнятна хіба, що для високолегованих сталей, наприклад нержавіючої. Для маловуглецевих сталей усіх груп розкисленості більш прийнятними є технології позапічної обробки сталі. Наприклад, рафінування розплаву сталі в ковші синтетичними шлаками дає можливість знижувати вміст сірки до 0,005 - 0,007%. При використанні синтетичних шлаків в сталі зменшується також вміст окислів. Останнім часом застосовують також розливання сталі у виливниці під рідким шлаком (екзотермічною сумішшю). Насамкінець необхідно зазначити, що кардинальним методом покращення якості та збільшення виходу придатного в листовому прокатному виробництві є застосування безперервної розливки сталі.

## **2.5 Способи зачистки дефектів поверхні**

Видалення дефектів з поверхні зливків напівпродуктів і готового прокату – специфічна область механічної обробки металу різанням. Пояснюється це тим, що в металургії більша частка зачистки припадає на важкооброблювані нержавіючі та інші леговані сталі, які найбільш схильні до ураження дефектами, наприклад плівами і рванням. Із року в рік зростає виробництво прокату якраз із цих сталей. Окрім того, за останні 20 років за рахунок вдосконалення технологій і заміни вуглецевих сталей на мікро- і малолеговані міцність прокату широкого вжитку збільшилась удвоє. Зросли і вимоги до якості поверхні і точності розмірів прокату. Таким чином постає завдання зачистки металу. В умовах діючого виробництва надто важко віднайти місце для розташування металоріжучого устаткування. Вихід із цього становища майже єдиний - заміна ручних і механізованих індивідуальних засобів зачистки

потоковими механізованими і автоматизованими технологічними лініями зачистки.

Першими інструментами для зачищення дефектів були зубила, молотки і терпуги. На зміну їм пришли пневмозубила (вирубуючи молотки) ручні навісні і стаціонарні наждаки з електроприводом. З розвитком виробництва багатолегованих сталей розпочалася ера механізованих процесів в тому числі таких, як абразивне обдирання, безцентрове шліфування, лезові методи механічної обробки, вогнева та електрична зачистка.

Гарячий метал, в тому числі і в поточних лініях прокатних станів, до цього часу зачищають тільки вогневим і термофрезерним методом.

Розглянемо найбільш поширені методи, їх переваги і недоліки, а також перспективи розвитку деяких процесів зачистки металів.

*Вогневі способи* забезпечують високу продуктивність в потоці станів при відносно невеликих затратах на зачистку. Але гаряча зачистка неможлива для високолегованих сталей - відходи металу при зачистці доволі значні і низькоякісні, якість зачищеної вогнем поверхні невисока.

*Абразивні способи* характеризуються значними витратами на інструмент, але дають можливість зачищати метал суцільно і вибірково на тому ж самому обладнанні; якість зачищеної поверхні висока, можлива зачистка високолегованих сталей навіть надвисокої міцності. Крім того, абразивна зачистка забезпечує широкий діапазон глибини зачистки – від 0,2 до 2,0 мм і більше за прохід, що надважливо для дорогоцінних багатолегованих сталей.

*Лезові способи* забезпечують задовільну якість зачищеної поверхні, відходи високоякісні і придатні на переплав, що суттєво для легованих сталей і кольорових металів. Крім того, термофрезеруванням можлива зачистка гарячого металу в потоці стану. Головний недолік лезового видалення дефектів – неможливість вибіркової зачистки поодиноких дефектів.

Перспективи розвитку вогневих методів пов'язані в заміні спалювання дефектного поверхневого шару металу на електропереплав цього шару в захисній атмосфері. Процес електропереплаву безвідходний. Перспективи



лезових методів пов'язані зі створенням високостійких інструментів для гарячої зачистки.

Найбільш перспективною є абразивна зачистка з точки зору створення нескінченного стрічкового інструменту для силового обдирання, шліфування і полірування. Перспективи зачистки абразивними кругами пов'язані з розробкою і втіленням в практику силового інструменту для швидкісної зачистки.

Спосіб зачистки обирають, приймаючи до уваги якісні переваги з урахуванням недоліків всіх можливих до втілення способів.

На практиці для видалення дефектів доводиться зачищати прокат на стадії виробництва напівпродуктів. Це пояснюється економічною доцільністю тому, що витрати металу мінімальні, а продуктивність зачистки максимальна. Наприклад, довжина дефекту на заготовці (блюмі) перерізом 200x200 мм дорівнює  $L_0=0,5$  м. Із заготівки на сортовому стані катають квадрат перерізом 20x20мм. Таким чином витяжка металу буде дорівнювати  $200 \times 200 / 20 \times 20 = 100$ , а довжина дефекту сягне  $L_g = L_0 = 0,5 \times 100 = 50$  м. Очевидно, що відходи металу трудо- і ресурсозатрати будуть значно більшими при зачищенні дефекту довжиною 50 м, чим дефекту довжиною 0,5 м. Спеціальні дослідження показують, що вартість зачистки дефектів на сортових профілях втричі більша від їх зачистки на зливках і вдвоє, чим на заготівках чи блюмах. Крім того не завжди можливо зачистити дефект на готовому профілі не виводячи його із розмірних допусків по перерізу. Наприклад, для круглої сталі діаметром 80 мм граничні стандартні відхилення по діаметру сягають +0,5-1,3 мм.

При прокатці на повний плюс діаметр дорівнює 80,5 мм і можлива глибина зачистки не повинна перевищувати 1,8 мм інакше отримаємо діаметр меншим ніж 78,7 мм і профіль вийде за границі мінусового допуску. Ще незначніші допуски на прокат меншим ніж 78,7 мм і профіль вийде за границі мінусового допуску. Ще незначніші допуски на прокат менших перерізів - десяті, а то й соті частки міліметра і такий готовий прокат взагалі зачищати неможливо. Крім того всі способи зачистки погіршують товарний зовнішній

вигляд металопродукції. З огляду на вище викладене у всіх випадках прагнуть зачищати поверхню металу на зливках, а при гарячому їх посаді на нагрівання - на напівпродукті, тобто на слябах, блюмах чи заготовках.

## **2.6 Видалення дефектів поверхні гарячого металу**

Гарячий метал зачищають двома способами вогневим і термофрезерним.

Вогнева зачистка дефектів - найбільш поширений спосіб для видалення дефектів на напівпродуктах із вуглецевих сталей. Вогнева зачистка складається із двох послідовно виконуваних основних операцій - нагріву металу до температури спалаху і власне зачистки. Нагрів поверхні металу здійснюється в струмені газокисневого полум'я. В якості горючих газів використовують ацетилен, коксовий або природний газ. Температура підігріву залежить від хімічного складу сталі і знаходиться в інтервалі 900 - 1200 °С, причому, чим більший вміст вуглецю в сталі, тим вищою має бути температура. По досягненні температури спалаху на поверхню металу подають чистий (ріжучий) кисень. При цьому дефекти спалюються в струмені кисню. Факел полум'я з ріжучим киснем підвищує температуру поверхні заготовки до 2500 - 3100 °С. Створення за рахунок цього додаткового тепла дозволяє проводити процес зачистки безперервно. В процесі спалення і плавлення струменем кисню шлак і рідкий метал здуваються з місця зачистки. Для прискорення розігріву струмів полум'я спрямовують до поверхні майже перпендикулярно під кутом до 80 °С, а після запалювання металу кут зменшують до 20 - 25 °С, чим забезпечують необхідну глибину зачистки та здування продуктів зачистки.

Використовують два способи зачистки - ручну і машинну. Ручну зачистку виконують або повздовжньою канавкою або ялинкою. Головне, щоб краї зачистки були пологими і закругленими, а ні в якому разі не гострими. В останньому випадку під час прокатки гострі краї

перетворюються в дефекти - закатини. Канавкою зрізують довгі дефекти, а ялинкою-широкі (рис.2.6).

Якщо напівпродукти по всій поверхні масово уражені неглибокими дефектами ефективною є суцільна зачистка на машинах вогневої зачистки (МВЗ) в потоці обтискних або заготівельних станів. Процес зачистки подібний до ручного видалення дефектів і виконується одночасно чотирма газокисневими ріжучими блоками з форсунками по схемі підгрів металу (якщо температура поверхні  $<750^{\circ}\text{C}$ ), запалювання, спалах і зачистка з видуванням шлаків і залишків рідкого металу. Глибини зачистки на МВЗ 1,5 - 2,5 мм, а глибокі поодинокі дефекти дозачищують вручну. При глибинах зачистки 2 - 2,5 мм суцільна зачистка на МВЗ стає економічно не доцільною спричиняючи підвищені витрати металу.

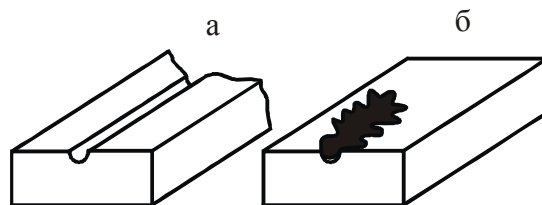


Рис. 2.6. Способи ручної вогневої зачистки: а-канавкою; б - ялинкою.

Швидкість зачистки на МВЗ 0,5...1,0 м/с і залежить від хімічного складу сталі та чистоти ріжучого кисню. Зі збільшенням чистоти кисню на 1% з 98% до 99%. Продуктивність МВЗ зростає на 15 - 90%.

Схема дочистки на МВЗ ілюструється рис.2.7.

Собівартість вогневої зачистки найменша в порівнянні з іншими способами видалення дефектів поверхні. Але на МВЗ неможливо зачищати кінці розкатів, якість зачищеної поверхні невисока, а найгірше, що МВЗ практично не використовують для зачистки легованих сталей, які найбільш уражаються дефектами. Пояснюється це значно нижчою теплопровідністю легованих сталей у порівнянні з вуглецевими. Крім того, більша частина легованих сталей схильна до тріщиноутворення при швидких нагрівах і охолодженнях.

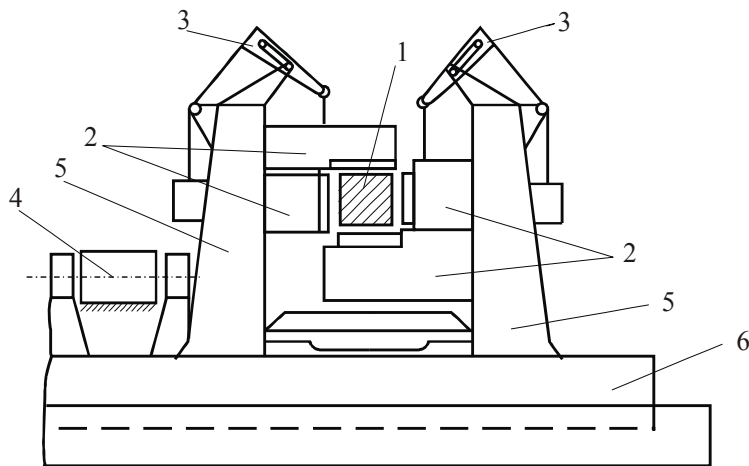


Рис.2.7 Схема машинно-вогневої зачистки дефектів поверхні металу:

1 - розкат; 2 - газowo-кисневі ріжучі блоки; 3 - механізми переміщення блоків;  
 4 - електропривод переміщення МВЗ; 5 - станини; 6 - рейко-зубчатий механізм поперечного перещення МВЗ.

Більш якісну зачищену поверхню на гарячому металі отримують термофрезеруванням на спеціальних великих верстатах з діаметром фрез 800...900 мм - термофрезерних машинах (ТФМ). Для підвищення стійкості інструменту зменшують час контакту ріжучих кромek з гарячим металом, використовуючи багато різцеві головки.

Крім того, фрези постійно охолоджують повітряно-водняним туманом. Якщо одночасно користуватись двома ТФМ, то розкати можливо зачищати в потоці прокатного стану. Кожна ТФМ зачищає дві паралельні грані перерізу заготовки при зустрічному фрезеруванні з кантівкою розкату на 90° поміж верстатами. Працюючі ТФМ ще мають недостатню стійкість ріжучого інструменту. Крім того, на ТФМ неможлива зачистка заокруглених кутів заготовок і блюмів.

## 2.7 Лезова зачистка дефектів поверхні

До механізованих способів лезової зачистки поверхні металу відносять:

- зливкообдирне точіння;
- фрезерування;
- безцентрово-токарне точіння;

- стругання.

Деякий час тому струганням зачищали сляби нержавіючих сталей, але із-за низької продуктивності строгальних верстатів цей метод поступово втратив промислове значення. Зливкообдирне точіння виконується на токарних верстатах спеціальних конструкцій для обробки зливків круглого або квадратного поперечного перерізу. Надзвичайно працеемким є процес зацентрування зливків, який включає в себе наступні операції:

- обробка денцевої частини зливку абразивним кругом,
- відрізання головної позначки та її кернування,
- свердлення центрального отвору.

Зміщення центру відносно осі зливка призводить до збільшення витрат металу у стружку і нестабільності режиму різання.

При обдирці зливків багатолегованих сталей видаляється шар металу на глибину до 20 мм, відходи металу при цьому сягають 15% маси зливку. Найважливішими параметрами механічної обробки на зливкообдирних верстатах є швидкості різання (1,5...15 м/с) і подачі (0,5...3,0 мм/об.) та глибина різання (7,0...20,0 мм). При необхідності зачищати зливки з глибиною налягання дефектів < 7 мм поверхневий шар видаляють абразивним кругом. Параметри різання в основному вибирають, виходячи із хімічного складу, тобто міцності сталі. Для обточування пивків користуються різцями із швидкоріжучої сталі Р18 або твердого сплаву ВК8. Різці під час різання інтенсивно охолоджують і одночасно змащують емульсіями мінеральних мастил. Після токарного обточування поодинокі глибокі дефекти видаляють абразивною зачисткою.

На підприємствах високоякісних легованих сталей використовують для зачистки поверхні напівпродуктів фрезерування, яке найбільш ефективно для обробки поверхні слябів. Обробку проводять на двосторонніх горизонтально-фрезерних верстатах двома торцевими фрезами діаметром 1050 мм, кожна з яких має 71 ніж із швидкоріжучої сталі.

Продуктивність фрезерування при цьому зростає в 5 разів у порівнянні зі стругальними верстатами. Дефектний шар поверхні довгих трубних заготовок і готових круглих профілів діаметром 10...250 мм видаляється на спеціальних безцентрово - точильних токарних верстатах конструкції Краматорського заводу великовагових верстатів. Круглий профіль послідовно переміщується через шпindel верстату, в якому вмонтовані дві ріжучі головки. Видаюча каретка, прийнявши кінець прутка, затискує його і протягує поміж головками. Обточення має бути високоточним, що досягається жорсткістю системи пруток - інструмент - верстат. Обточені прутки-профілі подають на правильно-поліруючі машини. Продуктивна зачистка високоміцних сталей досягається на різцях лопаткового профілю з малим кутом на плані. Чим більша кількість різців в головці, тим більша жорсткість інструмента, а значить, і всієї системи обробки. З цією метою в головках кількість різців доведена до 5. Підвищення продуктивності можливе при нагріванні поверхні прутків струмами високої частоти. Нагрів проводять в індукторах, які монтують на верстатах. При нагріві зменшується міцність поверхневого шару профілів, але одночасно зменшується і стійкість ріжучого інструмента.

## **2.8 Абразивна зачистка дефектів поверхні**

Абразивна зачистка - найпоширеніший спосіб механічної обробки для видалення дефектів на прокаті із високоякісних сталей, в тому числі і інструментальних, і забезпечує найвищу якість обробленої поверхні.

Зливки, заготовки і готовий прокат піддають, як обдирній суцільній абразивній зачистці, так і вибіркової. Крім того, готовий прокат обробляється абразивним інструментом на шліфування і навіть полірування. Цим досягається найвища, майже дзеркальна якість поверхні готових профілів, штаб і листів.

Розвиток обдирних і шліфувальних верстатів пройшов наступні етапи;

- ручні стаціонарні та підвісні верстати;

- механізовані верстати з рухомим столом;
- верстати-автомати;
- агрегатовані лінії декількох верстатів-автоматів з комп'ютерним управлінням.

Метал піддають слідуючим видам зачистки: суцільній за глибини різання  $s$ : 3 мм за прохід; освітленню поверхні від віпси з метою контролю наявності дефектів поверхні; вибірковій; для видалення поодиноких дефектів; обробка фасок, торців, задирок; шліфуванню; поліруванню та ін.

Ефективність і якість абразивної зачистки в основному визначаються характеристикою інструмента і режимом його роботи.

В якості матеріалів для виготовлення обдирних кругів використовують електрокорунд і карбід кремнію. Сировиною для виплавлення електрокорунду слугує високоякісний глинозем. В результаті плавлення отримують кристалічний окисел  $Al_2O_3$  – електрокорунд. Якісний глинозем – дефіцитний. Карбід кремнію  $SiC$  отримують за хімічної взаємодії при високих температурах в печах електроопору. Сировина – кварцит з вмістом  $SiO_2 \geq 97,5\%$  і антрацит з вмістом золи  $< 3\%$ . Сировина для карбіду кремнію не дефіцитна, але виробництво – більш енергоємне ніж електрокорунду.

Круги для силового обдирного різання отримують із абразивних зерен розмірами 800...2000 мкм, сполуки – бакеліта і наповнювача формуванням на пресах з послідуною термообробкою і сушкою в бакелізаторах. Найкращі по якості круги для силового різання виготовляють методом гарячого пресування у вакуумі.

В технічній характеристиці абразивних кругів наводять матеріал зерна, матеріал сполуки (зв'язки), розмір зерна, твердість і структуру інструмента, наповнювач, геометричні розміри, форму, допустиму швидкість різання і клас дисбалансу.

Враховуючи переривчастий характер різання при абразивній зачистці більш вигідним є матеріал з низькою теплопровідністю. В цьому випадку більша частина тепла переходить в стружку і метал. Теплопровідність

електрокорунду менша ніж у карбіда кальцію, тому його теплостійкість краща. Сполука закріплює абразивні зерна, тобто забезпечує гарантовану міцність кругів на розрив. Промислово використовують бакелітову і керамічну сполуку, із них перша гарантує більшу міцність кругів і набула більш широкого вжитку.

Твердість інструменту – це спротив сполуки вириванню зерен з ріжучої поверхні. Для швидкісного силового шліфування вживають круги вельми тверді ВТ1 і ВТ2 та надзвичайно тверді з великим зерном. Ці круги працюють у режимі самозаточування, тобто з руйнуванням зерен без їх виривання. В якості наповнювача служив алебастр, який в останні роки замінили кріолітом тому, що останній попереджує засалювання кругів. Обдирні круги виготовляють прямого профілю – форма ПП з рядом діаметрів зовнішніх  $D_k$  - 300, 500 і 600 мм відповідно діаметри внутрішнього отвору  $d_{от}$  75, 203 і 305 мм. В окремих випадках виготовляють силові круги діаметрами 750 і 900 мм. Висота кругів  $h = 40...80$  мм.

Нерівноважені круги (с дисбалансом) призводять до вібрації, тому після монтажу балансують, зводячи дисбаланс до мінімуму.

Обертова швидкість зачистки, величина подачі і зусилля різання визначаються міцністю кругів.

Крім силової обдирки для виготовлення каліброваних прутків використовують безцентрове шліфування електрокорундовими кругами середньої зернистості на керамічній сполуці.

Стрічковий (нескінченний) абразивний інструмент набуває все ширшого вжитку для чистового шліфування прутків, труб, листів і штаб. Стрічка – це тканева основа з покриттям із абразивних зерен, сполук – смоли або клею. Стрічкове шліфування має ряд переваг порівняно з обробкою кругами:

- високу продуктивність і якість обробки;
- безударність в роботі, простота заміни інструменту;
- стабільність процесу різання.



Але абразивні стрічки із тканини недостатньо міцні і в процесі роботи самовидовжуються. Тому проводяться експерименти по заміні тканин більш міцними матеріалами, наприклад, на металеву стрічку.

## **2.9 Технологічні основи переддеформційного нагріву металів**

Другою за черговістю фазою обробки в цехах гарячої прокатки листів і штаб є нагрів метала, який має забезпечити:

- високу пластичність і мінімальний опір металу деформації;
- регламентовану якість поверхні готової товарної продукції;
- обумовлені стандартами мікроструктури, механічні і технологічні властивості готових металовиробів.

Оговорена мета нагріву досягаються в нагрівальних печах, які за фізичною дією є теплообмінними апаратами. Причому чим вищі температури нагріву металу, тим більша його продуктивність і менші витрати енергії на деформацію.

З іншого боку висока температура металу і збільшення часу витримки металу в цій тепловій області збільшують окалиноутворення, а значить і витрати металу. Неминучі витрати металу складають 1 - 2% маси заготівлі за нормативної технології нагріву.

Вплив температури і тривалості нагріву на окалиноутворення на поверхні зразків вуглецевої сталі показані на рис. 2.10. Очевидно, що окислення металу збільшується із зростанням температури нагріву, особливо в області вище 1250°C.

Коли окалина починає розплавлятися, а також із збільшенням терміну витримки металу в печі за високих температур (рис. 2.8, а і б відповідно).

Інтенсивність окислення поверхні металу в печі залежить також від хімічного складу, атмосфери і тиску в печі. Для зменшення окалиноутворення процес горіння газового палива має здійснюватись за мінімально можливого

коефіцієнта надмірності повітря із максимальною повнотою, тиск в печі при цьому має бути позитивним (візуально – полум'я плине із отворів печей).

Разом з окисленням металу відбувається зневуглецювання його поверхневого шару, це є не що інше як хімічна взаємодія пічових газів з вуглецем сталі, що знаходиться або в твердому розчині, або у вигляді карбіду заліза  $Fe_3C$ . В результаті в поверхневому шарі знижується вміст вуглецю і

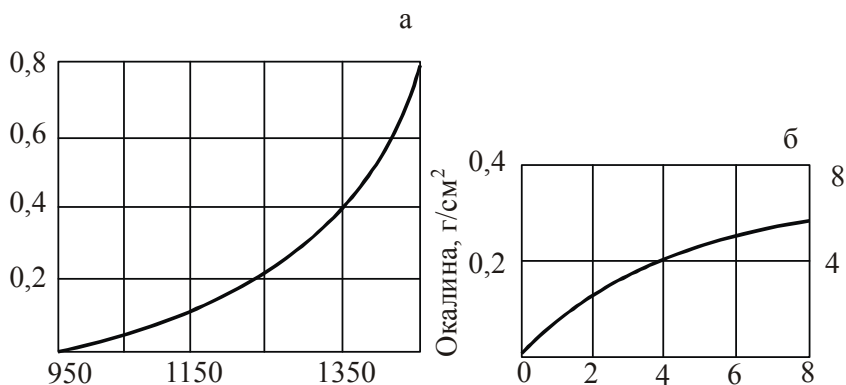


Рис. 2.8. Вплив параметрів нагріву металу на окалино утворення:

а – температури металу; б – терміну нагріву.

зменшується експлуатаційна стійкість виробів, наприклад зменшується міцність підшипникових та інших подібних за хімічним складом сталей. Взагалі зневуглецювання стає відчутнішим при вмісті вуглецю  $>0,4\%$ . На процес зневуглецювання впливають ті ж самі фактори, що і на окислення сталі. Експериментально встановлено, що інтенсивність зневуглецювання значно зростає за присутності в пічовій атмосфері вологи, вуглекислоти і водню. З підвищенням температури інтенсивність вигорання вуглецю збільшується.

При нагріванні сталей до температури вище критичної точки  $A_{с3}$  відбувається зростання зерен, а зв'язки поміж ними послабляються, що за певних умов призводить до перегрівання і до перепалу металу, що не допускається по технологічним умовам деформації.

З урахування вищезначених обмежень температури нагріву визначають приблизно: наприклад, для вуглецевих сталей із вмістом вуглецю менше  $0,4\%$ :

$$T_n = T_{пл} - (150 - 200) \text{ } ^\circ\text{C} \quad (2.3)$$

де  $T_{пл}$  – температура плавлення сталі.

При цьому найнижча температура закінчення деформації обирається по співвідношенню:

$$T_{зд} = T_p + (30 + 50) \text{ } ^\circ\text{C} \quad (2.4)$$

де  $T_p$  – температура рекристалізації сталі.

Для більшості марок вуглецевих сталей температуру рекристалізації по рекомендації Бочвара знаходять по співвідношенню:

$$T_p = 0.4 \cdot T_{пл} \quad (2.5)$$

Таким чином температурний інтервал гарячої прокатки зливків і слябів знаходиться в межах  $\theta_n - \theta$  з.д.

Температурний інтервал гарячої прокатки вуглецевих сталей визначають також користуючись діаграмою залізо-вуглець, приведений на рис.2.9.

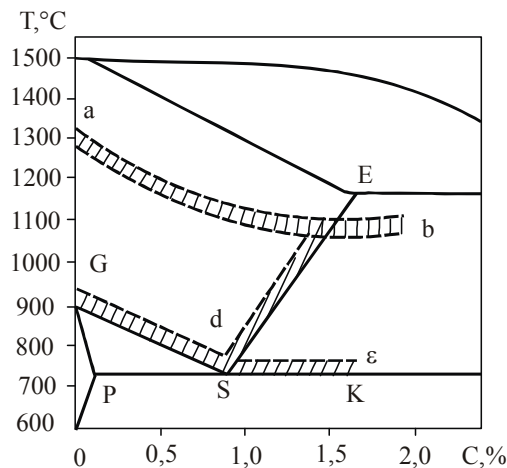


Рис. 2.9 Температурний інтервал гарячої прокатки вуглецевих сталей: а, в – кордон температур нагріву; с, d, e – кордон температур кінця прокатки.

Таким чином максимальну температуру нагріву для вуглецевих сталей регламентують у відповідності до лінії на діаграмі Fe - C. Найвищу допустиму температуру нагріву установлюють для маловуглецевих сталей з вмістом вуглецю  $< 0,10\%$ . Чим вище в сталі вміст вуглецю, тим нижчою обирається температура нагріву.

Для розрахунків температур і режимів нагріву зливків і слябів користуються також аналогами практичними даними діючих металургійних підприємств, які наведені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 Температурні інтервали деформації сталей, кольорових металів та їх сплавів по практичним аналогам

Сплав або метал	Температура метала, °С	
	Нагріву (Θн.)	Кінця деформації (мінімальна) (Θз.к.)
Сталь		
маловуглецева (0,1 - 0,2)%С	1200-1280	750-850
середньовуглецева (0,3 – 0,5)%С	1160-1200	750-850
високовуглецева (1,0 - 1,5)%С	1000-1150	750-850
корозійностійка	1100-1180	900
Мідь марок М1, Н2, М3	850-900	600-650
Спалави міді:		
латунні Л96, Л90	850-900	650-700
латунні Л72, Л70, Л68, Л63	780-840	700-750
латунні ЛС59-1, ЛКС 65-1, 5-3	750-780	700
Бронзи Бр А5, Бр А7	820-860	650
Нікель	1150-1200	850-900
Титан	900-1400	750-850
Алюміній і його сплави	400-500	150-250
Цинк	150-300	20-40

Підсумовуючи, можливо і необхідно зазначити:

Алгоритм проектування режимів нагріву складають з урахуванням вищезначених обмежень, а саме:

- схильності сталі або сплава до окислення;
- можливість знеуглецювання поверхневого шару заготовель;
- недопустимість перегрівання і перепалу.

Для комплексного врахування означених та інших технологічних обмежень наприклад, складу палива і пічної атмосфери, увесь марочний сортамент злиwkів (заготовель), обумовлений завданням на проектування, поділяють на групи, за ознакою хімічного складу сталей (сплавів) і обирають за аналогіями (див. табл. 5.5) температурний інтервал Θн - Θз.д.

Режими нагріву розробляються для кожної групи з сталей, окремо з урахуванням технологічних типів і характеристик теплообмінних апаратів

## 2.10 Теплообмінні апарати для нагріву зливків

Теплообмінними агрегатами для нагріву зливків є нагрівальні колодязі. На металургійних підприємствах України використовують колодязі трьох типів:

1. Регенеративні;
2. Рекуперативні з центральним пальником;
3. Рекуперативні з верхнім пальником.

В регенеративних колодязях (рис 2.10) нагрівають слябінгові або листові зливки плоскої форми – плюшки.

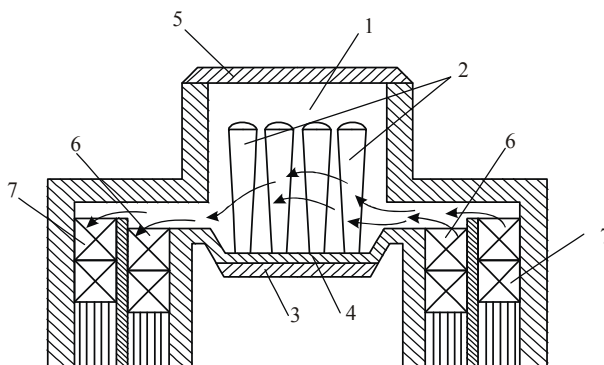


Рис. 2.10. Схема перерізу нагрівальної камери регенеративного колодязя:

1- нагрівальний простір камери; 2 - зливки; 3 - днище; 4- вогнетривка кладка; 5 - кришка; 6 - газові регенератори; 7 - повітряні регенератори.

Кожна група регенеративних колодязів складається з чотирьох камер, вміст кожної із них від 6 до 8 зливків. Кожна камера – це самостійний теплообмінний апарат (піч), обладнаний регенераторами – газовими і повітряними. Газові регенератори розташовані ближче до нагрівального простору, ніж повітряні. Регенеративні колодязі можливо опалювати доменним та сумішшю доменного та коксового газів, що є їх перевагою. Можливе також використання і рідкого палива (мазуту) та природного газу. Суттєвим

недоліком цих колодязів є неоднакове розташування зливків відносно теплового потоку (полум'я), що призводить до нерівномірності нагріву зливків.

Так із рис. 2.10 видно, що крайні зливки 2 першочергово охоплюються полум'ям, тобто зливки, розташовані безпосередньо біля регенераторів, нагріваються швидше ніж середні зливки. Таким чином, для периферійних зливків в процесі їх нагріву завжди є загроза перегріву, перепалу та оплавлення. Регенеративні колодязі важко піддаються автоматизації по режимам нагріву по причині неможливості віднайти в тепловому просторі точку зі стабільною температурою, тобто точку установки основної вимірювальної термопари.

Більш простими за будовою, експлуатацією та надійністю автоматичного керування режимами нагріву метала є рекуперативні колодязі з пальником, розташованим в центрі поду. Як видно із схеми нагрівальної камери (рис. 2.11) факел полум'я підіймається вгору, вдаряється об кришку і рухається зворотньо вниз, омиваючи та нагріваючи зливки. Кожна група таких колодязів складається із двох камер місткістю 10 - 20 зливків масою 8 - 10 т кожний. Кожна камера обладнана двома рекуператорами. Повітря нагрівають в керамічному, а газ в металевому трубчатому рекуператорі. Температура підігрітого повітря досягає 800 - 850°C, газу 300 - 350°C. За максимальних температур підігріву повітря і газу колодязі можливо опалювати доменним газом. Регенеративні колодязі більш компактні, нагрів зливків більш рівномірний і легко піддається автоматизації. Випадки перегріву, оплавлення і перепалу зливків майже неможливі. Виходячи з цих переваг регенеративні колодязі з центральним пальником застосовуються на підприємствах якісної металургії для нагріву зливків із легованих сталей.

Із схеми на рис. 2.11 видно, що полум'я з найвищою температурою в першу чергу завдає високотемпературного удару по нижній поверхні кришки камери. Для підвищення експлуатаційної надійності кришок камер їх футерують вогнетривами спеціального виготовлення, великої вартості, що є недоліком колодязів з центральним нижнім пальником. Цього недоліку не

мають рекуперативні колодязі з верхнім опаленням. Пальники встановлюють двома способами:

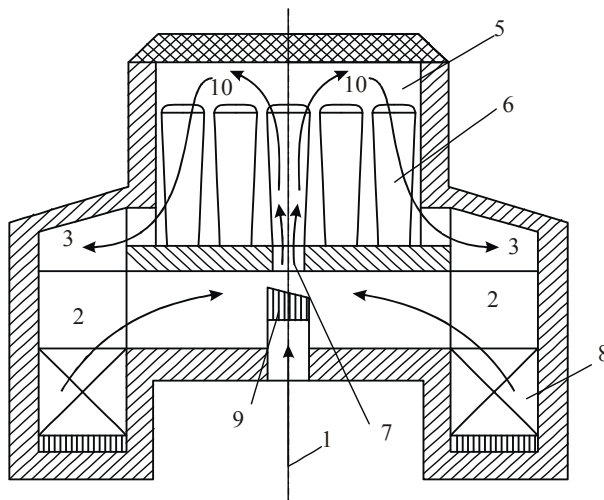


Рис. 2.11. Схема перерізу нагрівальної камери рекуперативного колодязя з нижнім центральним опаленням : 1- підвід газу; 2- підвід нагрітого повітря; 3 - відвід продуктів згоряння; 4 - кришка; 5 - тепловий простір камери; 6 - зливки; 7 - центральний пальник; 8 - керамічний рекуператор; 9 - трубчатий рекуператор; 10 - полум'я.

1. Один пальник посередині бічної вузької стінки (в торці камери).
2. Два пальника по кутам протилежних торців (вужчих стінок) камер.

Камери таких колодязів мають видовжену форму довжиною до 10 м і шириною 2,5 м на один або 3,5 м на два пальника. Глибина камер 3,5 або 4,5 м відповідно для злиwkів масою менше або дорівнює 12 т або більше 12 т. Схема повздовжнього перерізу камери по пальнику і повітряним рекуператорам (газові рекуператори не показані на рис.2.12, звідки видно, що полум'я від пальника йде вздовж камери спочатку по верхній частині, вдаряючись об торцеву стінку, повертає на 180 ° і омиває зливки в їх нижній частині. Такий подвійний шлях полум'я дозволяє підвищити ККД камер таких колодязів.

Режими нагріву злиwkів залежать від температури злиwkів при їх посаді до камер колодязів і швидкості нагріву, підйому температури металу. При масовому виробництві напівпродукту із мало- і середньовуглецевих, та

низьколегованих сталей 95% зливків гріють гарячим посадом, причому більшу частину вуглецевих сталей завантажують у колодязі коли зливки ще мають

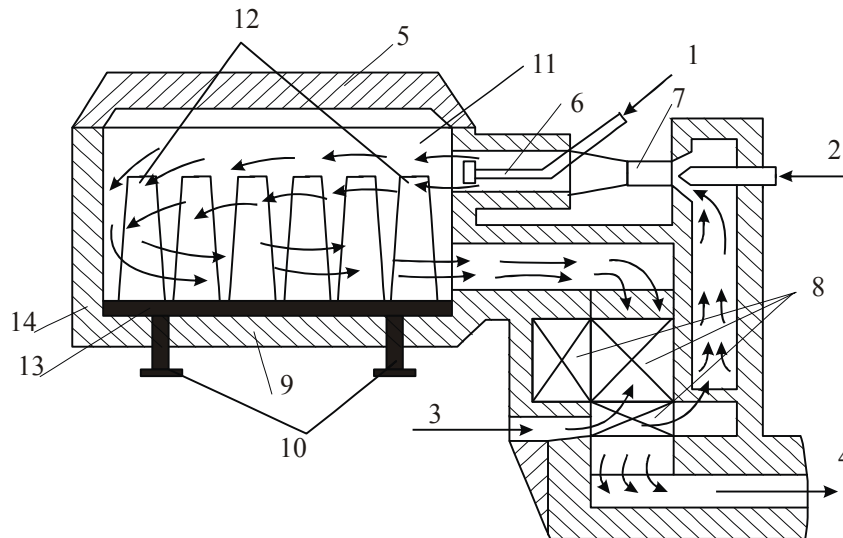


Рис. 2.12. Схема поздовжнього перерізу камери нагрівального колодязя по рекуператорам і пальнику: 1 - форсунка подачі мазуту; 2 - форсунка подачі компресорного повітря ; 3 - подача холодного повітря; 4- відвід продуктів згорання в димову трубу; 5 - кришка; 6 -пальник; 7- трубопровід; 8 - повітряні рекуператори; 9 - черинь; 10 - шлакові канали; 11 - тепловий простір; 12 - зливки; 13 - вогнетривка футеровка; 14 - бічна стінка.

рідку серцевину. В цих випадках нагрів металу двоступеневий, коли інтенсивно нагрівається поверхня, а серцевина кристалізується, внаслідок чого температура зливка по всьому поперечному перетину вирівнюється (рис.2.13). Зливки холодного посаду із високовуглецевих, більшості середньолегованих і усіх багатолегованих сталей нагрівають за триступеневим режимом. Перша ступінь – це період попереднього загальмованого нагріву за постійної, але обмеженої теплової потужності печі, яка визначається вилічною допустимих внутрішніх напружень. Друга ступінь – прискорений нагрів розпочинають після досягнення серцевиною зливка температури 500°C і закінчується по досягненню максимальної температури печі. В другому періоді максимально можлива тепла потужність печі використовується повністю до досягнення поверхнею металу кінцевої температури нагріву. Третя ступінь – витримка



металу за постійною максимальною температурою печі до вирівнювання температури серцевини з поверхнею зливків (рис. 2.14).

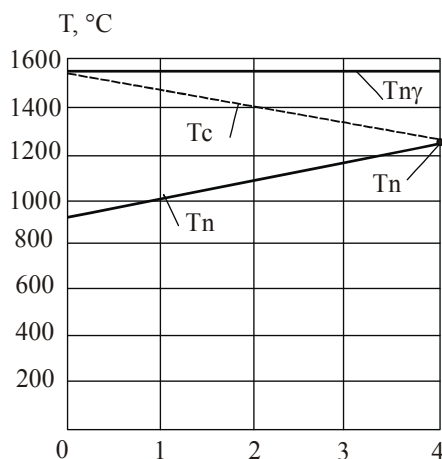


Рис. 2.13. Двоступеневий режим нагріву зливків з рідкою серцевиною:

$T_{пч}$  - температура печі;  $T_{с}$ - температура серцевини;  $T_{п}$ - температура поверхні;  $T_{н}$ - температура нагріву.

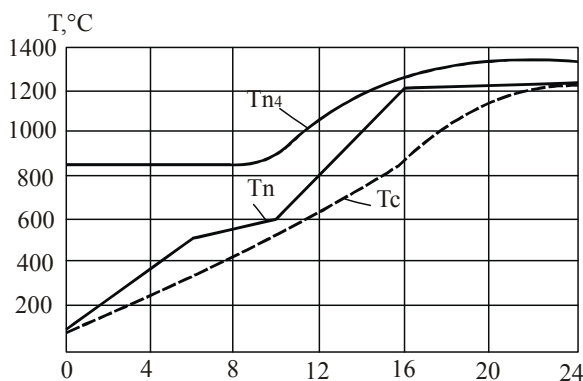


Рис. 2.14. Треступеневий режим нагріву зливків сталі 12Х18Н10Т перетином 640х1100 мм холодного посаду:  $T_{пч}$ - температура печі;  $T_{с}$ - температура серцевини;  $T_{п}$ - температура поверхні.

В рекуперативних колодязях з опалюванням пальником, вмонтованим в центрі, зливки розташовуються по периферії камери, біля стін. Робочий простір камери в плані має майже квадратну форму зі стороною близько 5 м. Кількість зливків в камері обирають із оптимізації доступу тепла, тобто за умовою рівномірного огортання зливків полум'ям по всій поверхні. За цією умовою оптимальна відстань між сусідніми зливками має дорівнювати радіусу зливка  $R_z$ , який вираховують прирівнюючи фактичну площу поперечного перетину  $R_{\phi}$  розрахунковій площі рівновеликого круга  $R_p$ , тобто:

$$F_{\phi} = F_p \quad (2.6)$$

або

$$bh = \pi R^2 \quad (2.7)$$

звідки відстань поміж зливками  $m$ :

$$m = R_3 = 0,564 \sqrt{a_3 b_3} \quad (2.8)$$

де  $a_3$  і  $b_3$  – розміри сторін поперечного перетину зливку посередині його висоти.

Довжина підлоги камери  $l_k$  складає:

$$l_k = i_3 a + (i_3 + 1) R_3 \quad (2.9)$$

Ширина підлоги камери  $B_k$  розраховується за формулою:

$$b_k = 2a_3 + 0,5a_3 b_3 + (i_3 + 1) R_3 \quad (2.10)$$

де  $a_3, b_3, R_3$  - те ж саме що і в формулі (2.8)

$i_3$  - кількість злиwkів в камері.

Висота камери  $h_k$  рекуперативних нагрівальних колодязів проектується із умовами максимальної висоти злиwkів  $h_{max}$ :

$$h_3 = h_{3_{max}} + (0,4-0,6), \text{ м} \quad (2.11)$$

Розміри камер рекуперативних нагрівальних колодязів з одним верхнім пальником обирають за діючими аналогами:

$$l_k = (6-10), \text{ м}$$

$$b_k = (2,5-3,5), \text{ м}$$

$$h_k = (4-4,5), \text{ м}$$

## 2.11 Технологія нагріву злиwkів

Злиwки отримують розливанням розплаву сталі у вилиwниці, установлені на піддонах спеціальних платформ, якими і подаються по залізничній колії в стриперне відділення сталеплавильного цеха. Якщо вилиwниці розширені до низу, то їх знімають спеціальним краном, притискуючи злиwок до піддону. Якщо вилиwниці розширені ввєрх, то в стриперному відділенні виконують тільки відривання злиwkів від вилиwниці. Злиwки вивільняють (витягують) із вилиwниць за прибутнову частину кранами безпосередньо перед посадкою в нагрівальні камери колодязів. В обох випадках гарячі злиwки, по залізній колії

після роздягання або відриву, подають в прогін нагрівальних колодязів. Для використання (утилізації) тепла попередньої фази обробки (виплавки сталі) зливки саджають в нагрівальні камери не тільки гарячим посадом але й і з рідкою серцевиною. При цьому температура поверхні злиwkів при посаді визначається часом розлиwки сталі на зливки, і часом транспортування злиwkів в стриперне відділення, їх роздягання, транспортування до колодязів і посадки в нагрівальні камери. Чим менше вищеозначені витрати часу, тим вищою буде температура поверхні злиwkів, менше час нагріву і менші витрати палива та втрати метала в окалину.

На металургійних підприємствах технологію нагріву злиwkів різної маси, розмірів і марок сталей розробляють і регламентують у вигляді технологічних інструкцій на базі результатів промислових досліджень. При цьому сталі з приблизно однаковим хімічним складом, теплопровідністю, питомим опором деформації, пластичність, схильність до перегрівання, перепалу та обезвуглецювання об'єднують в одну групу. Зливки кожної групи нагрівають за одним і тим же технологічним режимом.

До пешої групи відносять зазвичай відносно пластичні сталі з вмістом вуглецю до 0,3%. Зливки цих сталей, як за гарячого так і холодного посаду, нагрівають з максимальною швидкістю, використовуючи теплову потужність камер повністю, причому температуру камер перед завантаженням злиwkів не знижують.

До другої групи відносять вуглецеві сталі з вмістом вуглецю 0,15 – 0,3% але з підвищеним вмістом марганцю до 1%. Зливки цієї групи сталей при холодному посаді (температура поверхні менше 400°C) завантажують в попередньо охолоджені камери до 600 - 750°C.

До третьої групи відносять леговані сталі. Всього таких груп може бути 5 - 6 і більше. Наприклад, сталі, що прокатують в цеху зі станом слябінг одного із металургійних підприємств України, поділені на чотири групи (табл. 2.2). До першої групи включені якісні маловуглецеві конструкційні та напівспокійні сталі, до другої - якісні спокійні, до третьої - марганцеві, марганцево-

кремністі, деякі з яких з добавками алюмінію, ванадія або титана. В четверту групу включені відносно високовуглецеві сталі з кремнієм або хромом.

Таблиця 2.2 Групи сталей по нагріву зливків в регенеративних колодязях

Група сталей по нагріву зливків	Марка сталі	Хімічний склад по ГОСТ і ТУ
1	08пс(кп), 10пс(кп), 15пс(кп), 20пс(кп), 08пс(кп) 08ю 25пс Ст0пс(кп), Ст1пс(кп), Ст2пс(кп), для всіх груп, Ст3пс(кп) для всіх груп Ст4пс(кп) для всіх, Ст3Гпс, Ст5Гпс	ГОСТ 1050-93 ГОСТ 9045-93 ГОСТ 9045-93 ТУ У 14-4-458-99  ГОСТ 380-94
2	10, 15, 20, 25, 30 Ст0, БСт0, Ст2сп для всіх груп, Ст3сп для всіх груп, Ст4сп для всіх груп Ст15сп медиста	ГОСТ 1050-93  ГОСТ 380-94 ТУ У 14-2-1241-2000
3	12ГС 16ГС, 09Г2Д, 09Г2, 14Г2, 10ХНДП, 09Г2С 10Г2 10Г2А 17ГС, 17Г1С Ст5пс для всіх груп 07ГСЮФ ТУ 14-15-325-94	ГОСТ 19281-89 ТУ 14-1-4118-86 ТУ 14-1-4118-86 ТУ, ГОСТ 19281-89 ГОСТ 380-94
4	08ГСЮТ 08ГСЮФ 08ГЮТ, 08ЮТ, 08ГЮФ 09Г2СЮЧ 60С2А 70Х	ТУ 14-1-3464-83 ТУ 14-1-3464-83 ТУ 14-226-135-93 ТУ 14-15-307-93 ГОСТ 1050-93 ТУ 14-143-250-77

Обов'язково для зливків гарячого посаду та з рідкою серцевиною вноормовуються терміни, мінімально допустимий час від моменту закінчення розливки плавки до кінця, довантаження гарячих зливків в кожну камеру в залежності від групи сталей і типів (розмірів і маси) зливків. Для груп сталей наведених в таблиці 2.2 вищезазначені нормативи наведені в таблиці 2.3 із якої видно, що для зливків гарячого посаду лімітується мінімально допустимий час від кінця розливки до кінця завантаження зливків в кожну камеру колодязя. Для

зливків з рідкою серединою лімітується час від кінця розливання до кінця завантаження останнього зливка в кожен камеру. Очевидно, щоб витримати ці доволі жорсткі нормативи часу необхідна синхронізація роботи дільниць розливання сталі, стриперного відділення і нагрівальних колодязів, забезпечення синхронної роботи вищезначеного виробничого ланцюга можливо за оперативної роботи диспетчерської служби з використанням САК.

Таблиця 2.3 Норми (год-хв) мінімально допустимого часу від кінця розроставання плавки до кінця завантаження зливків з рідкою серцевиною (РС) або гарячим посадом (ГП) в кожну камеру для різних типів зливків і груп сталей по хімічному складу\*

Тип зливка	Група сталей					
	1		2 та 3		4	
	РС	ГП	РС	ГП	РС	ГП
XV	1-10 до 2-00	2-01	1-10 до 2-00	2-11	1-10 до 2-00	2-10
1Б	1-10 до 2-00	2-01	1-10 до 2-00	2-11	1-10 до 2-00	2-30
2Б	1-20 до 2-10	2-11	1-20 до 2-10	2-21	1-20 до 2-10	2-40
4А	1-40 до 2-20	2-21	1-40 до 2-20	2-41	1-40 до 2-00	2-55

Із таблиці 2.3 порівняння норм часу в стовпцях РС і ГП очевидно, що для зливків із рідкою серцевиною в нормуються часові межі (від - до), а для гарячого посаду тільки мінімальні допустимі норми. Очевидно, що уніфікація режимів нагріву розпочинається з регламентації часу витримки зливків до їх посадки в камери нагрівальних колодязів. Чим менший так званий час транспортування зливків, тим технологія нагріву є більш енерго- та ресурсозберігаючою. З іншої сторони з'являється небезпека подачі на прокатку зливків з рідких, не повністю закристилізованою серцевиною, що може привести до отримання бракованих слябів з дефектами вздуття, а при їх розривах - зі шпаківницями. Застерегаючим засобом для породження вищезначених дефектів є регламентація мінімально допустимого часу від кінця розливу плавки сталі до укладення зливків в горизонтальне положення, для їх

транспортування (табл 2.4).

Таблиця 2.4 Мініально допустимі нормативи часу від закінчення розливки плавки до початку укладення зливків в горизонтальне положення

Тип зливка	Мінімальна норма часу (год-хв) для сталей		
	Киплячих, спокійних, 08Ю, хімічно закупорених	Спокійних із вмістом марганцю $\leq 1\%$	Спокійних низьколегованих із вмістом марганцю $> 1\%$
XV	3-20	4-10	5-20
1Б	3-50	4-20	5-30
2Б	4-40	4-30	5-40
4А	5-20	4-45	5-55

Режими нагріву зливків з підвищеним тепловмістом (з рідкою серцевиною) характеризується нагрівом камер після закінчення завантаження їх металом і накриття кришками до відносно невисоких температур в межах 1220 - 1340°C у відповідності до збільшення часу транспортування (табл. 2.5).

Таблиця 2.5 Режим нагріву зливків з рідкою серцевиною для сталей марок 08нс(кп), 10нс(кп), 15нс(кп), 20нс(кп) 25нс, 08Ю, 15нсН, 08нсН, Ст0, Ст1нс(кп), Ст2нс(кп), Ст3нс(кп), Ст4нс(кп), Ст3ГНС, Ст5ГНС

Тип зливка	Час транспортування год-хв	Нагрів камери після завантаження зливків до температури, °C	Мінімальний час перебування зливків в камері год-хв
XV	1-10 до 1-20	1220	3-30
1Б	1-21 до 1-30	1260	3-20
	1-31 до 1-40	1280	3-10
	1-41 до 1-50	1300	3-00
	1-51 до 2-00	1340	3-00
2Б	1-20 до 1-30	1220	3-40
	1-31 до 1-40	1240	3-30
	1-41 до 1-50	1300	3-20
	1-51 до 2-00	1340	3-10
4А	1-40 до 1-50	1320	3-50
	1-51 до 2-00	1340	3-40

Аналіз даних таблиці 2.5 засвідчує те, що поверхневі шари зливків нагріваються теплом, яке виділяється в процесі кристалізації рідкої серцевини зливків. Зливки типів XV, 1Б, 2Б і 4А тіх же марок сталей, які названі в таблиці 2.5, при гарячому посаді нагріваються з витримкою при максимальній температурі в камері 1360°. Для прикладу в таблиці 2.6 наведено режим нагріву зливків типів XV і 1Б.

Таблиця 2.6 Режими нагріву зливків гарячого посаду маловуглецевих сталей

Тип зливків	Марка сталі	Час транспортування год-хв	Час томління хв	Температура камери	Мін час перебування зливків в камері год-хв
XV 1Б	08нс(кп), 10нс(кп), 15нс(кп), 20нс(кп), 25нс, 08Ю, 15Нсн, 08Нсн, Ст0, Ст1нс(кп), 08нсН, Ст0, Ст1нс(кп), Ст2нс(кп), Ст3нс(кп), Ст4нс(кп), Ст3Гнс, Ст5Гнс	2-01 до 2-10	15	1360	2-55
		2-11 до 2-20	15	1360	3-10
		2-21 до 2-30	15	1360	3-15
		2-41 до 3-00	35	1360	3-35
		3-01 до 3-30	35	1360	3-45
		3-31 до 4-00	35	1360	4-10
		4-01 до 4-30	50	1360	4-30
		4-31 до 5-00	50	1360	4-45
		5-01 до 5-30	50	1360	5-10
		5-01 до 5-30	60	1360	5-25
		5-31 до 6-00	60	1360	5-45
		6-01 до 6-30	60	1360	6-00
		6-31 до 7-00	60	1360	6-10
		7-01 до 7-30	60	1360	6-20

Окрім нормативів часу і температури в режимах нагріву регламентують коефіцієнт співвідношення повітря/газ ( $K_{п/г}$ ), який в період нагріву приймається рівним 1,10, а під час томління – 1,04 указується періодичність та порядок реверсу зміни (спрямування) факела полум'я та деякі інші параметри.

## 2.12 Виробництво слябів на обтискних станах

Обтискний стан для виробництва слябів називають слябінгом. Назви сляб і слябінг походять відповідно від англійських термінів «a slab», «a slabing». Значення слова «a slab» в перекладі - плоска заготівля. Розміри слябів позначають: Н – товщина, В – ширина, L – довжина. Катані сляби мають розміри Н х В х L – (110-300)х(900-1500)х до 9500 мм.

Виробництво слябів зводиться до послідовності виконання операцій (фаз) обробки метала:

- нагрів зливків;
- подача зливків до стану слябінг;
- прокатка зливків на сляби;
- порізка розкатів на заказні довжини з видаленням дефектних кінців на ножицях;
- клеймування слябів і передача на ад'юстаж (склад слябів) або транспортування слябів транзитом для прокатки гарячекатаних штаб.

Нагріті зливки із камер нагрівальних колодязів за відкритої кришки общеньковими кранами подають або в люльку зливковоза, або на першу секцію прийомного рольганга стана. Система зливкопостачання має забезпечувати синхронну роботу дільниць нагріву і прокатки метала. На металургійних підприємствах використовують одну із трьох схем зливкоподачі (рис.2.15):

а) прямоліїну поздовжню, коли зливковоз зі зливком рухається прямоліїно вздовж колодязів в напрямку до стана і повертається за слідуючим зливком в протилежному напрямі;

б) зпаровану прямоліїну, коли нагрівальні колодязі розташовані



паралельно (див. також рис.2.16);

в) закільцьовану, коли зливковози з гарячими зливками рухаються до стана всередині приміщення цеху, а холостим зворотнім ходом – поза межами будівлі цеху.

Зазначимо, що схема «в» використовується на великих блюмінгах і є доволі складною для автоматичного керування. Зі схеми «а» довжина прогону нагрівальних колодязів вдвічі більша порівнюючи зі схемою «б», що призводить до неритмічної подачі злиwkів внаслідок довготривалого транспортування металу від далеких груп колодязів.

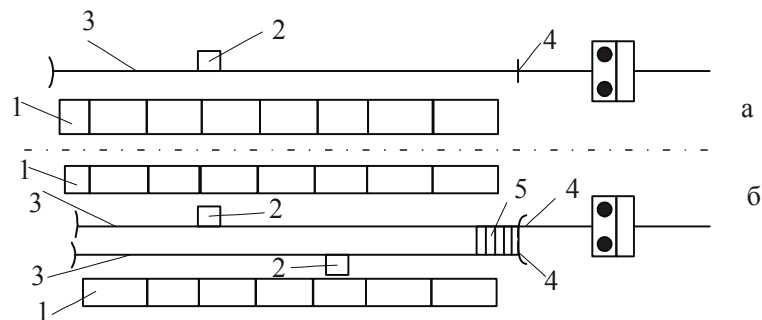


Рис. 2.15. Системи зливкоподачі на слябінгах: а – прямолінійно одноступінчаста; б – прямолінійна зпарована; в – камери нагрівальних колодязів; 2 – зливковози, 3 – рейкова колія, 4 – упорі, 5 – рольганг - візок, б – універсальна кліть слябінга.

Склад обладнання та схема його розташування в обтискному цеху зі станом слябінг ілюструється рис. 2.16. Основним технологічним агрегатом є універсальна прокатна кліть, горизонтальні валки які мають бочки діаметром 1150 або 1250 мм і довжиною відповідно 2000 або 2300 мм. Кожний горизонтальний валок слябінга 1150 приводиться індивідуальним електродвигуном постійного струму потужністю 7200 кВт, оберти валків 0-53-80 за хвилину. Зазор поміж валками змінюється в межах 80 - 900 мм, швидкість піднімання (опускання) верхнього валка 150 мм/с. Бочки вертикальних валків мають діаметр 700 мм, довжину 1150 мм і обертаються кожен вертикальним електродвигуном постійного струму потужність 1200 кВт з частотою обертання 0-66-78 об/хв. Максимальна швидкість руху двох валків сягає

64,8 мм/с, розхил поміж вертикальними валками змінюється в межах 72 – 1800мм.

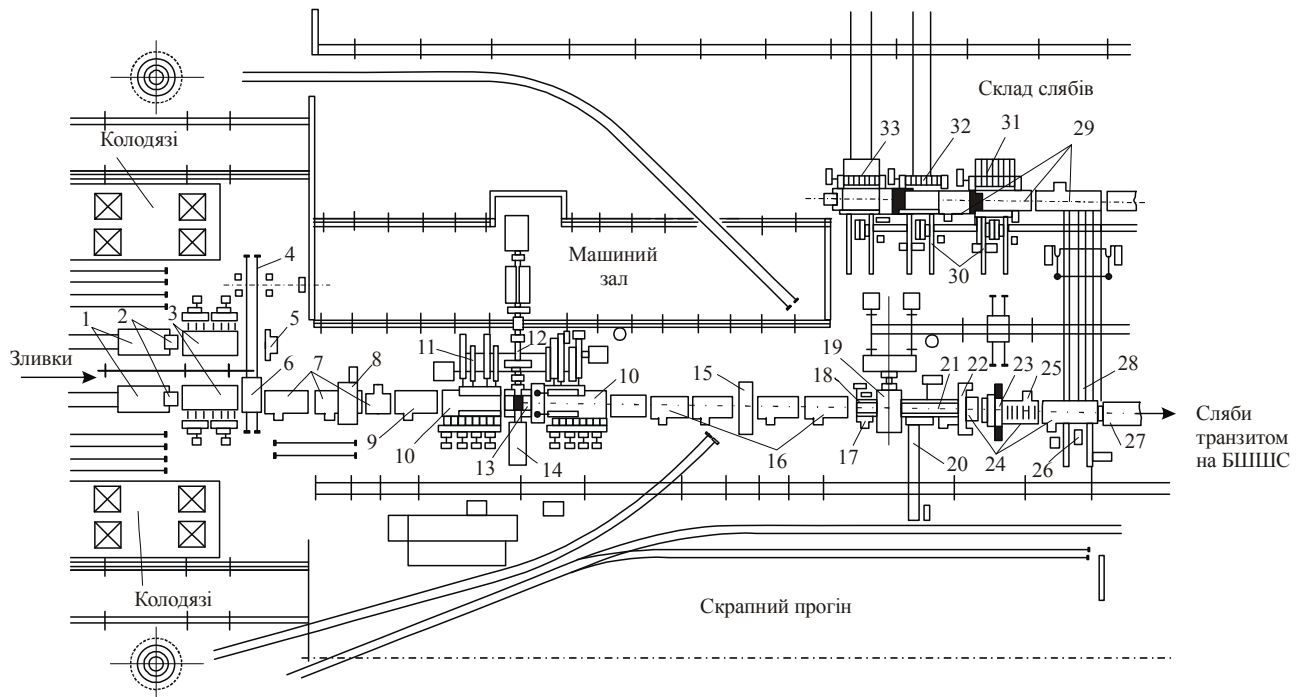


Рис. 2.16. Схема розташування обладнання слябінга: 1 – зливковози, 2 – упор, 3 – приймаючий рольганг, 4 – рейковий шлях, 5 – стаціонарний упор, 6 – рольганг- візок, 7 – підвідні рольганги, 8 – терези, 9 – розкатний рольганг, 10 – робочі рольганги, 11 – маніпулятор з кантувачем 12 – шпинделі, 13 – універсальна кліть, 14 – машина перевалки валків, 15 – машина вогневої зачистки, 16,17, 21, 24, 29 – рольганги, 18 – зіштовхувачі, 19 – ножиці, 20 – транспортер обрізі, 22 – упор, 23 – клеймувач, 25 – терези, 26 – зіштовхувач, 27 – утопаючий упор, 28 – транспортер слябів, 30 – зіштовхувачі, 31 – стелажі, 32 – підйомний стіл, 33 – візок для слябів.

В процесі прокатки розкат почергово деформується по товщині горизонтальними і по ширині – вертикальними валками. Обтиск по товщині виконується у всіх проходах, крім останнього, в якому сляб калібрується (прасується) по товщині і формі в дещо розведених валках. Вертикальна кліть виконує подвійну функцію, а саме зменшення ширини зливка до ширини сляба і усунення розширення розкату, яке з'являється внаслідок обтиску металу по

його товщині. Першу функцію вертикальні валки виконують в непарних, а другу – в парних проходах. В останніх обтиск більший, ніж в непарних проходах із-зі необхідності усунення розширення, отриманого металом за два проходи.

Сам процес прокатки автоматизовано на принципі рівності часу реверсу і повернення розкату до валків з часом опускання верхнього валка на величину обтиску по товщині. Робоча кліть (рис. 2.17) обладнана лінійками маніпулятора, якими розкат центрується відносно середини (центра бочки валків).

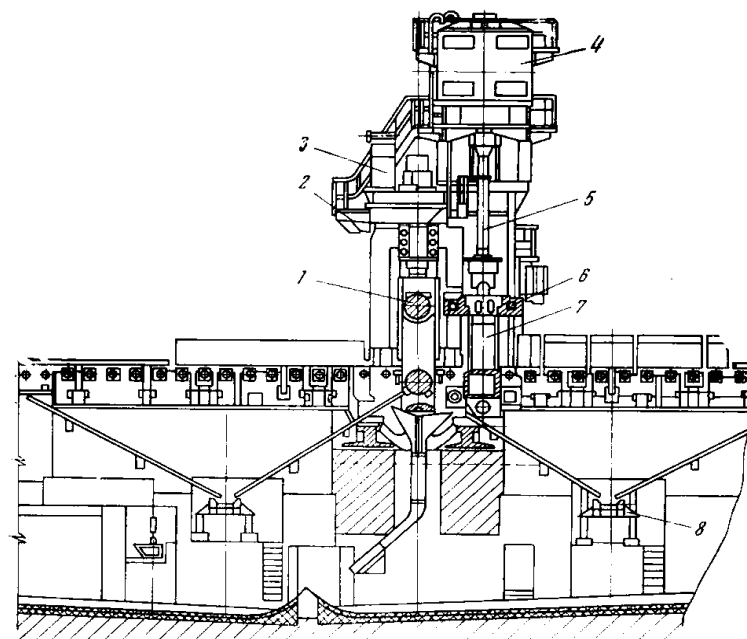


Рис. 2.17. Робоча кліть слябінга: 1 – горизонтальні валки, 2 – робоча кліть горизонтальних валків, 3 – електродвигуни натискного устрою, 4 – електродвигуни приводу вертикальних валків, 5 – універсальні шпинделі вертикальних валків, 6 – кліть вертикальних валків, 7 – вертикальні валки, 8 – транспортери окалини.

Синхронізація процесу прокатки в горизонтальних та вертикальних валках досягається виконанням умови постійності секундних об'ємів металу, тобто за принципом безперервної прокатки

$$V_r \neq F_r = V_s \cdot F_s \quad (2.12)$$

де  $V_r$  і  $V_v$  - колова швидкість відповідно горизонтальних і вертикальних валків;

$F_r$  і  $F_v$  - площа поперечного перерізу розкату на виході відповідно із горизонтальних та вертикальних валків.

Користуючись співвідношенням (2.12) та розмірами розкату (з таблиці обтисків) визначають синхронізовану частоту обертів горизонтальних і вертикальних валків при змінюванні діаметрів їх бочок після електроплавки або переточування.

Прокатані до заданих розмірів розкати за необхідності піддають суцільній вогневій зачистці поверхні на МВЗ. Розкати в потоці стана після МВЗ переміщуються до ножиць, де обрізаються кінцеві частини для видалення головної і донної частини зливків. Обрізь і окалина зі стана транспортуються в скрутний прогін, а звідти – в сталеплавильний цех на переплавку. При транзитній прокатці за схемою «зливко-сляб-рулон» розкати піддають на ножицях подільному розрізуванню. При виробництві за схемою «зливки-сляби-нагрів слябів - прокатка рулонів» розкати на ножицях розрізають на сляби довжиною відповідно до ширини робочого простору нагрівальних печей. Сляби високовуглецевих і легованих сталей після клеймування транспортуються на склад, де їх оглядають і видаляють дефекти поверхні.

Необхідно зазначити, що поріз розкатів в залежності від хімічного складу сталей має деякі особливості, зумовлені тим, що зусилля різання збільшується прямо пропорційно збільшенню границі міцності розрізуваного металу. Окремі дані  $\sigma_b = f(T^{\circ}C)$ , отримані Прищипом М.Г. [7] наведені в табл.2.7, із якої видно, що навіть для маловуглецевої сталі марки 08нс зусилля різання розкатіводних і тих же розмірів при температурі розрізуємого металу  $900^{\circ}C$  зростатиме вдвічі порівняно з розрізуванням при температурі  $1100^{\circ}C$ , а для сталі марки ХНМС – втрічі.

Для зменшення кількості вторинної повітряної окалини на поверхні слябів, які підлягають складуванню, розроблені різні системи прискореного та регульованого охолодження слябів в потоці стана в спеціальних камерах,

змонтованих на рольгангу після ножиць. Охолодження проводиться струменями води, які подаються на широкі грані сляба, тобто зверху і знизу. Пароводяна гаряча суміш із камер подається в холодильник, а звідти знову в камери, тобто система охолодження працює по замкнутому циклу.

Таблиця 2.7. Механічні властивості деяких сталей в залежності від температури метала при випробуваннях

Марка сталі	Границя міцності $\sigma_{\text{г}}$ , МПа при температурі випробування, С			
	800	900	1000	1100
08нс	40	40	30	20
12ГНД	100	98	60	40
12ХГНМ	120	98	68	58
09Г2	70	40	35	28
12ГС	43	40	32	30
30ХГСА	98	50	30	20
12Х18Н10Т	180	80	60	40
Ст.20	100	80	50	40
Ст.45	120	90	50	40
12Х13	40	30	40	20
08Х18Н12Б	150	100	60	40

### 2.13 Технологічні параметри прокату слябів

Основними технологічними параметрами процесів гарячої прокатки слябів, листів і штаб є показники та коефіцієнти деформації, температура метала та швидкість і енергосилові параметри. Нормальний технологічний процес, безаварійна експлуатація прокатних станів та необхідний рівень якості металовиробів забезпечуються регламентацією (внормуванням) вищезначених і деяких специфічних для окремих станів параметрів. Наприклад, для реверсивних станів гарячої прокатки штаб з моталками в печах в регламент технології (технологічних інструкціях, технологічних картах. програмах

автоматичного регулювання та керування і т.ін.) виносяться вимоги щодо натягу штаби поміж моталками і валками (кліттю).

До показників і коефіцієнтів деформації в процесах деформації плоского прокату на гладких валках відносять відомі із теорії прокатки величини:

Абсолютний ( $\Delta h$ ) і відносний обтиск ( $\varepsilon$ ), розширення метала ( $\Delta b$ ), коефіцієнт витяжки ( $\mu$ ):

$$\Delta h = H_0 - h_1 \quad (2.13)$$

$$\varepsilon = \left[ \frac{\Delta h}{H_0} - \frac{H_0 - h_1}{H_0} - 1 - \frac{h_1}{H_0} \right], \% \quad (2.14)$$

$$\Delta b = B_0 - b_1 \quad (2.15)$$

$$\mu = \left[ \frac{F_0}{F_1} = \frac{B_0 \cdot H_0}{b_1 \cdot h_1} \right] \quad (2.16)$$

де  $H_0$  і  $h_1$  - товщина розкату відповідно до і після проходу.

$B_0$  і  $b_1$  - ширина розкату відповідно до проходу і після нього.

Важливим параметром прокатки є кут захвату метала валками  $\alpha$ . Величина кута захвата обмежуються його максимально допустимою величиною  $[\alpha]$ :

$$\alpha = \sqrt{\Delta b / R} \leq [\alpha] \quad (2.17)$$

де  $R$  – радіус бочки валка.

Величина допустимого кута установлюється з урахуванням матеріалу валків, температури прокатуваного метала та швидкості прокатки. Величина  $[\alpha]$  в залежності від швидкості прокатки  $[V]$  на гладкій бочці за даними прокатки наступні:

$V, \text{ м/с}$	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5
$[\alpha], ^\circ$	24,5	23,5	22,5	19,5	16,0	12,5	12

Валки слябінгу і чорнових клітей товстолистових станів виготовлені із сталі, а валки чистових клітей товсто– і тонколистових станів із чавуну з відбіленою поверхнею, для яких кут захвата рекомендується визначати за простими та надійними формулами Гелеї:

для сталевих валків:

$$[\alpha_3] = f_3 = 0,94 - 0,0005 T - 0,056 V \quad (2.18)$$

для чавунних валків:

$$[\alpha] = f_3 = 0,82 - 0,0005 T - 0,056 V \quad (2.19)$$

де  $T$  – температура градусів Цельсія

$V$  – колова швидкість валків м/с;

$f_3$  – коефіцієнт тертя поміж поверхнями метала і бочок валків.

Виходячи із (2.17), (2.18) і (2.19) максимальна допустима величина обтиску з одночасним забезпеченням нормального захвату і прокатки без буксування метала в валках складатиме:

$$[\Delta h]_{\max} = R_{\min} f_3^2 \quad (2.20)$$

де  $R_{\min}$  – мінімальний (після останньої прокатки) радіус бочки валків.

$$R_{\min} = R_n (1 - K_n) \quad (2.21)$$

де  $K_n$  – коефіцієнт переточування валків, який по практичним даним можна приймати такими:

стан (кліті)	$K_n$
слябінг	0,10 – 0,15
ТЛС (чорнова)	0,10 – 0,12
ТЛС (чистова)	0,10
БШШС ГП (чорнові)	0,10
БШШС ГП (чистові)	0,08
БШШС ХП	0,06 – 0,08

Складовою частиною розробки технологічної гарячої прокатки є визначення температури розкатів по проходам (по клітям). Розрахунок зменшення температури  $\Delta T$  в кожному проході доволі не складно визначається за моделлю В.А.Тягунова:

$$\Delta T = \frac{T_0 - 400}{16} \frac{t}{H_0} \quad (2.21)$$

Використовуючи методику В.А.Тягунова, можливо визначити температуру  $T_i$  в будь-якому іншому пропуску (кліті), якщо відомий загальний перепад температури за увесь цикл прокатки:

$$T_i = T_0 - k/H_{i-1} \quad (2.22)$$

де в (2.21) і (2.22):

$T_0$  і  $\kappa$  – температурні константи;

$H_{i-1}$  – товщина розкату перед іншим проходом

Значення температурних констант визначають за формулами:

$$\kappa = \frac{T_n - T_k}{H_0 - H_{k-1}} \quad (2.23)$$

$$T_0 = T_n + \frac{\kappa}{H_0} \quad (2.24)$$

де  $T_n$  і  $T_k$  – температура початку і кінця прокатки, °С;

$H_0$  і  $H_{k-1}$  – товщина металу відповідно перед першим і останніми проходами, мм

Зниження температури розкату за іншою кількістю проходів можна визначити за емпіричною формулою, отриманої в результаті математичної обробки великого масиву практичних даних:

$$\Delta T_{\square i} = 240(1 - H_i / H_1) \quad (2.25)$$

$$T_i = T_1 - \Delta T_{\square i} \quad (2.26)$$

де  $T_i$  – температура металу після іншого проходу, °С;

$T_1$  – температура металу після першого проходу, °С;

$H_1$  – товщина розкату після першого проходу, мм;

$H_i$  – товщина розкату після іншого проходу;

$\Delta T_{\square i}$  – сумарне зниження температури металу після прокатки за іншу кількість проходів.

До енергосилових параметрів процесу прокатки відносяться сила  $F$ , момент  $M$  і потужність прокатки  $N$ , які визначають за відомими моделями, які вивчаються в дисципліні «Теорія процесів прокатки». Так зусилля прокатки  $F$  визначають за формулою:

$$F = p_{cp} F_k = p_{cp} \frac{B_0 - B_1}{2} \sqrt{\Delta h R} \quad (2.27)$$

де  $p_{cp}$  – середній контактний тиск (нормальне контактне напруження) в осередку деформації;

$F_k$  – площа контакту металу з валками;

$B_0$  і  $B_1$  – ширина розкату відповідно до і після проходу;



$\sqrt{\Delta h_R} = l_d$  – довжина осередку деформації.

Визначену (діючу) силу прокатки  $P$  порівнюють з допустимим зусиллям  $[F]$  по умові міцності валків:

$$P \leq [P]_{min} \quad (2.28)$$

де  $[P]_{min}$  – мінімальне допустиме значення (менше із двох) або по міцності бочки або – шийки валка. Момент деформації  $M_d$  визначають за відомою із теорії прокатки моделлю – методом плеча моменту (в англійській літературі – методом важеля):

$$M_d = 2F \psi l_g \quad (2.29)$$

де  $l_g = \sqrt{\Delta h_{Rk}}$  – довжина осередку деформації;

$\psi$  – коефіцієнт плеча моменту.

Коефіцієнт  $\psi$  визначають по емпіричним формулам, наприклад, для слябінгу:

$$\Psi = 0,79 - 0,887 \frac{l_g}{h_{sp}} + 0,444 \left( \frac{l_g}{h_{sp}} \right)^2 \quad (2.30)$$

В першому наближенні без розрахунку для слябінгів можна приймати:

$\Psi = 0,55$  – в проходах 1 -3;

$\Psi = 0,50$  – в проходах 4 -7;

$\Psi = 0,45$  – у інших проходах, крім останнього.

Момент прокатки  $M_n$  – це сума моменту деформації  $M_d$  і моменту тертя в підшипниках валків  $M_m$ :

$$M_n = M_d + M_m \quad (2.31)$$

де

$$M_{ml} = P \times f_{\Gamma} \times d_{ш} \quad (2.32)$$

де  $f_{\Gamma}$  – коефіцієнт тертя в підшипниках валків, який дорівнює 0,01 – 0,02 або 0,004 підшипників відповідно ковзання з текстолітовими вкладниками або кочення.

$d_{ш}$  – діаметр шийки валків.

Момент тертя в механізмах головної лінії проводу  $M_{z2}$  валків визначається за допомогою коефіцієнта корисної дії (ККД)  $\eta$ , який для шпинделів дорівнює 0,98, тоді:

$$M_{z2} - \left(\frac{1}{\eta} - 1\right) M_n = 0,02 M_n \quad (2.33)$$

Тоді статичний момент  $M_{cm}$  дорівнюватиме:

$$M_{cm} = M_n + M_{m1} + M_{m2} = 1,02 M_n + M_{m1} \quad (2.34)$$

З урахуванням (2.29), (2.31), (2.32), (2.33), (2.34) матимемо:

$$M_{cm} = 1,02P(2 + l_d + Pd_{uw}) \quad (2.35)$$

або в кінцевому вигляді:

$$M_{cm} = 1,02P(2 + l_d + f_z d_{uw}) \quad (2.36)$$

Необхідно також врахувати момент, необхідний для холостого обертання валків і шпинделів  $M_{xx}$  який для слябінга приймають рівним:

$$M_{xx} = 0,05 M_{cm} \quad (2.37)$$

Тоді статичний момент двигуна  $M_{cm\delta}$  із (2.36); (2.37) буде дорівнювати

$$M_{cm\delta} = 1,02P(2 + l_d + f_z d_{uw}) + 0,005 \times 1,02P(2 + l_d + f_z d_{uw}) \quad (2.38)$$

або в кінцевому вигляді:

$$M_{cm\delta} = 1,07 \Phi (2 + l_g + f_z d_{uw}) \quad (2.39)$$

Як буде показано в слідуючому параграфі на слябінгу в кожному проході є три періоди прокатки метала із прискоренням (при розгоні), на постійній максимальній швидкості – період усталеної прокатки, з гальмуванням. Якщо позначити прискорення двигуна  $\varepsilon_p$  при розгоні;  $\varepsilon_r$  при гальмуванні, то момент приводу по періодам визначається за формулами [8]:

при розгоні:

$$M_p = M_{cm\delta} + (GD^2 \varepsilon_p / 375) \quad (2.40)$$

при сталій швидкості:

$$M_y = M_{cm\delta} \quad (2.41)$$

при гальмуванні:

$$M_z = M_{cm\delta} + (GD^2 \varepsilon_r / 375) \quad (2.42)$$

де  $GD^2$  - приведений до валу електродвигуна маховий момент з урахуванням маси злитків.

Очевидно, що максимальні моменти матимуть місце при розгонах стана з прокатуванням металом. По величині цих моментів визначають максимальне його значення  $M_{max}$  і коефіцієнт короткотермінового перенавантаження  $K_n$  :

$$K_n = \frac{M_{max}}{M_{ном}} \leq (2,5 - 2,7) \quad (2.43)$$

де  $M_{ном}$  - номінальний момент електродвигуна.

Потужність електродвигуна валків визначається по крутному моменту на валу електродвигуна  $M_{кр}$  :

$$N = M_{кр}\omega = M_{кр}(v/R) \quad (2.44)$$

Якщо вимір  $M_{кр}$  в Кн м, то  $N$  має розмірність кВт;  $\omega, v$  - швидкість валків відповідно кутова і колова;  $R$  - радіус бочки валків.

Насамкінець порівнюють розрахункову потужність в кожному  $i$ -му проході  $N_i$  з номінальною (паспортною) потужністю електродвигуна  $N_{ном}$ . Необхідно виконання умові  $N_i \leq N_{ном}$ . За необхідності перевіряють реверсивний електродвигун на нагрів по середньо еквівалентному моменту, який визначається по навантажувальній діаграмі цикла прокатки зливка валків.

## 2.14 Допустимі сили прокатування в клітях дуо

Двохвалкові кліті використовують для прокатки блюмінгів, слябів, заготовок, сортових профілів, як і чорнові на старих товстолистових станах. Виходячи із міцності бочки валка на згин допустима сила прокатування  $[P_3]_6$  визначається за формулою:

$$[P_3]_6 = \frac{0,4D_{kmin}^3[\sigma_3]}{L_6 + l_{ш} - 0,5b} \quad (2.45)$$

де  $[\sigma_3]$  - допустиме напруження матеріалу валків на згин;

$D_{kmin}^3$  - мінімальний (після останньої переточки) катаючий діаметр валків (для блюмінгів і сортопрокатних клітей по дну калібру);

$L_6$  і  $l_{ш}$  - відповідно довжини бочки і шийки валка;

$b$  - розрахункова або задана ширина рівновеликої штаби:  $(b = \frac{b_0 + b_1}{2})$ .

При визначенні допустимої сили прокатування по міцності приводної шийки валка необхідно урахувати не тільки напруження згину  $\sigma_3$ , але і напруження кручення  $\tau_{кр}$ . Результатне напруження вираховується за формулами:

Для сталевих валків:

$$\sigma_p = \sqrt{\sigma_3^2 + 3\tau_{кр}^2} \quad (2.46)$$

Для чавунних валків:

$$\sigma_p = 0,375\sigma_3 + 0,625 \sqrt{\sigma_{кр}^3 + 4\tau_{кр}^2} \quad (2.47).$$

Напруження згину  $\sigma_3$ , та кручення  $\tau_{кр}$  визначаються за формулами:

$$\sigma_3 = \frac{Pl_{ш}}{0,4D_{ш}^3} \quad (2.48)$$

$$\tau_{кр} = \frac{M_{кр}}{0,2d_{ш}^3} \quad (2.49)$$

де  $d_{ш}$  – діаметр шийки валків;

$M_{кр}$  - крутний момент прикладений до шийки валка.

Приблизно, знехтувавши моментом сил тертя в підшипниках валка, можливо прийняти крутний момент на шийці  $M_{кр}$  рівним крутному моменту на бочці валка, тобто моменту прокатки  $M_{пр}$ , який дорівнює:

$$M_{кр} = M_{пр} = P\psi lg \quad (2.50)$$

де  $P$ - сила прокатки;

$lg$  - довжина осередку деформації;

$\psi$  - коефіцієнт плеча моменту.

По [8] в США при побудуванні математичних моделей прокатних станів і процесів прокатки приймають:

$\psi = 0,5$  - для блюмінгів, слябінгів, чорнових клітей товстолистових станів, при прокатуванні заготовок і квадратної сортової сталі;

$\psi = 0,6$  – при прокатуванні овальних круглих штаб і профілів.

Тому для клітей дуо приблизно приймаємо  $\psi = 0,5$ , з урахуванням чого і формул (2.50) отримаємо:

$$M_{кр} = 0,5P\sqrt{R_{k\max}\Delta h} \quad (2.51)$$

Підставивши  $M_{кр}$  із (2.51) і (2.49) отримаємо:

$$\tau_{кр} = \frac{0,5 P \sqrt{R_{k\max} \Delta h}}{0,2 d_{ш}^3} \quad (2.52)$$

або в кінцевому вигляді:

$$\tau_{кр} = \frac{P\sqrt{R_{k\max}\Delta h}}{0,2 d_{ш}^3} \quad (2.53)$$

Підставивши  $\sigma_3$  і  $\tau_{кр}$  із (2.48) і (2.53) в формули (2.46) і (2.47) і деяких перетворень останніх отримують вирази для визначення допустимих сил прокатки по міцності шийок  $[P]_{ш}$  :

Для сталених валків:

$$[P]_{ш} = \frac{0,4 d_{ш}^3 [\sigma_p]}{\sqrt{l_{ш}^2 + R_{k\max} \Delta h}} \quad (2.54)$$

Для чавунних валків:

$$[P]_{ш} = \frac{0,4 d_{ш}^3 (2,5\sqrt{l_{ш}^2 + 4R_{k\max} \Delta h} - 1,5l_{ш}) [\sigma_p]}{l_{ш}^2 + 6,25R_{k\max} \Delta h} \quad (2.55)$$

Порівнявши обраховані величини  $[P]_{ш}$  і  $[P_3]_6$ , для подальших розрахунків приймають менші значення допустимих сил із умови екстремального навантаження прокатних клітей, себто

$$P \leq [P]_{\min} \quad (2.56)$$

де  $P$  – розрахункове значення прокатки;

$[P]_{\min}$  - мінімальне допустиме значення сили прокатки із умови міцності або бочки або шийки валка (менше значення в даному проході).

## 2.15 Режими обтисків в процесі прокатки слябів

Практикою роботи обтискних станів слябінгів накопичені основні критерії для розробки та застосування оптимальних режимів обтисків.

По-перше необхідно враховувати задані умови процесу прокатки, головними з яких є:

- Характеристика слябів, а саме хімічний склад сталі, розміри, допуски щодо розмірів, вимоги щодо якості поверхні, форми поперечного перерізу і т.ін.;
- Характеристика вихідного матеріалу, а саме розміри, маса і тип зливка, температурне поле нагріву, прокатки і порізу металу;
- Технічні характеристики обладнання технологічної лінії обтискного цеха, а саме нагрівальних колодязів прокатного стана, МВЗІ, ножиць.

Так, наприклад, до основних показників технічної характеристики стана відносяться розміри валків (діаметр і довжина бочок), максимально допустиме зусилля прокатки, потужність основних електродвигунів, міцність валків і шпинделів, швидкість прокатки (частота обертання валків, величина прискорення і гальмування), швидкість опускання і підйому верхнього горизонтального валка та інше.

По-друге обтиск за прохід і швидкість валків не повинні утруднювати захват метала валками, не призводити до перевантаження по зусиллю прокатки і потужності.

По-третє тривалість циклу прокатки зливка має бути мінімальною з точки зору обмежень по нагріву двигунів валків та досягнення максимальної продуктивності стана, що досягається зменшенням загальної кількості проходів, кантівок і переміщень розкатів. При цьому необхідно брати до уваги, що загальний обтиск по товщині зливка  $H$  має забезпечити повне продеформування (пропрацювання) литої структури зливка по поперечному перерізу. Режим обтисків має також забезпечити правильність форми кінців розкатів, тобто мінімізацію утворення кінців у формі «риб'ячого хвоста» або «язика». Повне ущільнення (продеформування) литої структури досягається при співвідношенні  $h/D \leq 0,5$  ( $h$  - товщина розкату,  $D$  – діаметр бочки валків).

Насамкінець, режим обтисків має забезпечити прокатку конкурентоспроможних слябів за технологічними показниками виробництва, наприклад, по метало- і енергоємності.

Отриманням якісного та економічного сляба режим обтисків має забезпечити виконання усіх обмежень по технологічним та енергосиловим параметрам, які в подробицях розглядались в попередньому параграфі 2.15.

Зважаючи на те, що із зливків однакового типу (однієї маси і розмірів) прокатують сляби декількох перерізів, необхідна максимально можлива уніфікація режимів обтисків в перших проходах, при цьому відмінності в режимах обтисків повинні мати місце в останніх проходах. Для прикладу в таблиці 2.8 наведені режими обтисків зливків типу 2Б із низьковуглецевих сталей на сляби товщинами 200, 170, 160, 150, 130 і 110 і ширинами в межах 1170 x1360 м.

Таблиця 2.8 Режим обтисків зливків типу 2Б перетином 780 x1400 мм маловуглецевої нс, кп, нс (08Ю, 08псн) сталі на сляби різними претинами

I. Група режимів обтисків, температура кінця прокатки не нижче 1100<sup>0</sup>С.

Перетин слябів, мм	Номер прохода	Горизонтальна кліть			Вертикальна кліть	
		Показники циферблата, мм	Обтиск, мм	Уширення, мм	Показники циферблата, мм	Обтиск, мм
1	2	3	4	5	6	7
200x(1170-1360)	0	780	0	0	1400	0
	1	670	110	15	1360	40
	2	615	55	9	1360	24
	3	560	55	12	1330	30
	4	510	50	7	1330	19
	5	455	55	6	1300	30
	6	405	50	10	1300	10
	7	350	55	15	1270	30
	8	310	40	14	1270	20
	9	275	35	15	1230	40

Продовження табл. 2.8

	10	245	30	13	1230	28
	11	220	25	12	1190	40
	12	205	15	7	1190	19
	13	205	0	0	1190	0
170x(1170-1360)	8	310	40	14	1270	29
	9	270	40	17	1230	40
	10	235	35	16	1230	33
	11	200	35	17	1190	40
	12	175	25	12	1190	29
	13	175	0	0	1190	0
160x(1170-1360)	8	305	45	21	1270	36
	9	260	45	19	1230	40
	10	220	40	18	1230	37
	11	190	30	15	1190	40
	12	165	25	12	1190	27
	13	165	0	0	1190	0
150x(1170-1360)	8	305	45	21	1270	36
	9	260	45	19	1190	40
	10	220	40	18	1270	37
	11	180	40	20	1230	40
	12	152	28	14	1190	34
	13	152	0	0	1190	0
130x(1170-1360)	8	300	50	18	1270	33
	9	250	50	21	1230	40
	10	205	45	21	1230	42
	11	160	45	22	1190	40
	12	102	28	14	1190	34
	13	132	0	0	1190	0
110x(1170-1369)	8	310	40	14	1270	29
	9	270	40	17	1230	40
	10	240	30	14	1230	31
	11	200	40	19	1190	40



Продовження табл. 2.8

	12	170	30	15	1190	34
	13	140	30	15	1190	0
	14	112	28	14	1190	29
	15	112	0	0	1190	0

Із таблиці 2.8 видно, що прокатка шести типових товщин слябів від 200 до 110 мм в перших восьми проходах проводиться з одними за величиною обтисками, тобто за уніфікованою схемою. Уніфікація режимів обтисків використовується також в процесах прокатки усіх інших типів зливків, що ілюструється даними таблиці 2.9.

Таблиця 2.9. Кількість проходів при прокатуванні зливків в залежності від їх типу, марки сталі, товщини і ширини слябів

Тип і переріз зливка	Ширина слябів	Група і марка сталі	Кількість проходів за товщини слябів						Температура кінця прокатки, °С
			200	170	160	150	130	110	
XV 780x1000	850-960	Маловуглецеві кп*, сп*, нс* і нестаріючі 08Ю, 08нс	11	—	11	—	13	13	≥1100
	850-960	Низьколеговані	13	13	13	13	15	19	1050
1Б 780x1200	970-1160	Маловуглецеві кп, нс і нестаріючі 08Ю, 08нсН	11	11	11	11	11	13	>1100
		Маловуглецеві сп	13	13	13	13	13	19	≥1100
		Низьколеговані	15	15	15	15	15	17	1050
		Високовуглецеві	—	—	—	25	25	—	1000
2Б 780x1400	1170-1360	Маловуглецеві кп, нс і нестаріючі 08Ю, 08нсН	13	13	13	13	13	15	≥1100
		Маловуглецеві сп	13	13	13	19	15	15	≥1100
		Низьколеговані	15	15	15	15	15	17	1050
		Високовуглецеві	—	—	—	27	27	—	1000

Продовження табл. 2.9

4А 780x1600	1370-1470	Маловуглецеві кп, нс і нестаріючі	15	17	17	17	17	17	≥1100
	1480-1520	08Ю, 08нсН	13	15	15	15	15	17	≥1100
	1370-1420	Маловуглецеві сп	15	17	17	17	17	19	≥1100
		Низьколеговані	—	19	19	19	21	21	1050
		Високовуглецеві	—	—	—	29	29	—	1000
Х 640x1100	950-1050	Високовуглецеві	—	—	—	17	19	19	1000
ХП 640x1340	1180-1280	Високовуглецеві	—	—	—	19	21	21	1000
ХП 640x1480	1280-1400	Високовуглецеві	—	—	—	19	21	21	1000

Примітка \*—КП— киплячі, сп— спокійні, нс— напівспокійні сталі.

Обтиски вертикальними валками в непарних проходах більші ніж в парних, що пояснюється необхідністю видалення розширення металу, який отримує розкат за 2 проходи.

Розкати подвійної довжини (зливки – сляб) з температурою кінця прокатки не нижче 1100°С поточно спрямовуються, на транзитну прокатку штаб на безперервному широкоштабовому стані.

### 2.16 Режим швидкості прокатки на станах слябінг

Вертикальні і горизонтальні валки універсальних клітей в тому числі і слябінгів одночасно обтискують метал відповідно по ширині, а потім по товщині в непарних і навпаки – в парних проходах, коли вертикальна кліть змонтована поперед горизонтальною (див. рис. 2.17).

Спільна робота горизонтальних і вертикальних валків обумовлена жорстким кінематичним зв'язком обох осередків деформації прокатуваного розкатом металу.

В парних проходах, коли обтиск по ширині максимальний (табл. 2.8) необхідно створювати незначний підпір металу зі сторони горизонтальних валків. Для цього умова (2.12) трансформується у вигляд:

$$(V_1 F_2)(1,02 - 1,05) > V_2 F_1 \quad (2.57)$$

Слябінг належить до реверсивних станів, тому швидкість прокатки в кожному проході змінюється в часі і залежить від довжини розкату, величини обтиску, який в свою чергу, залежить від хімічного складу сталі. Виходячи із довжини розкату цикл прокатки зливка до розкатів перетину сляба умовно поділяються на чотири періоди:

1. – відповідає першим проходам, коли довжина розкату ще мало відрізняється від довжини зливка;
2. – відповідає проходам середнім;
3. – відповідає проходам передостаннім;
4. – відповідає останньому проходу при підірваних з розведених горизонтальних валках.

Кожен період характеризується тахограмою або схемою зміни швидкості в часі відповідно довжини розкату, що ілюструється рис. 2.18.

Тахограми у вигляді трикутника використовують в перший період, коли довжина розкату невелика, причому в перших двох проходах віддають перевагу схемі “а” в третьому – четвертому схемі “b”. Тобто схема стає можливою для використання при деякому збільшенні довжини розкату.

Більшість проходів, починаючи з четвертого - п'ятого проводять, використовуючи тахограму за схемою “с”, коли значна частина довжини розкату прокатується на постійній максимально можливій (робочій) швидкості з обертами валків  $\Pi_{\alpha}$ . Схема “d” використовується за одночасної прокатки двох злиwkів впритул один до одного. Використовують також і інші тахограми прокатки, наприклад схеми “b”, “с” і “d” коли швидкість захвата металу валками і швидкість виходу ( викидання) металу із валків є рівними, тобто  $\Pi_{\alpha} = \Pi_{\beta}$ .

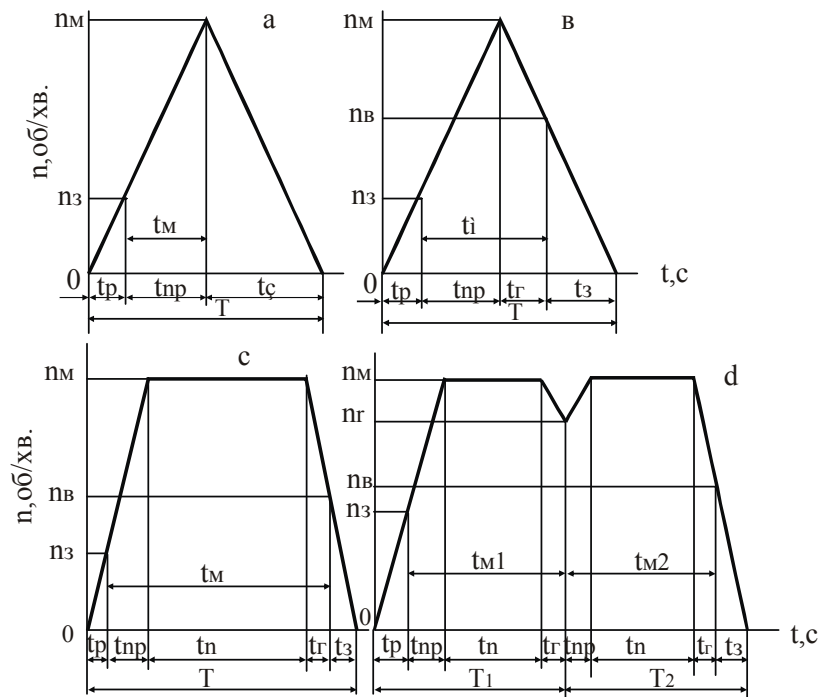


Рис. 2.18. Найбільш типові тахограми зміни частоти обертання валків слябінга в проході: а,в – трикутні тахограми; с - трапецеподібна тахограма; д- тахограма двозливкової прокатки;  $\Pi_3, \Pi_B, \Pi_M$  – відповідно частоти обертання валків при захваті метала, при виході розката із валків; максимальна робота;  $t_p$  – час розгону валків без метала;  $t_{np}$  – час прискорення валків з металом;  $t_n$  – час прокатки на постійній робочій(максимальній) швидкості;  $t_r$  – час гальмування валків з металом;  $t_3$  – час гальмування валків без метала до зупинки;  $t_M$  – машинний час прокатки;  $T$  – час проходження від запуску до зупинки валків.

Загальними особливостями усіх схем режимів зміни швидкостей за проход є:

— захват метала валками виконується на відносно невеликій швидкості ( $\Pi_3 = 15 - 35 \text{ об/хв}$ ), чим забезпечується надійність захвату. Причому в перших проходах, коли поведінка зливка під час прокатки не може бути наперед спрогнозована, оберти валків складають всього  $\Pi_3 = 10 - 15 \text{ об/хв}$  (див. табл. 2.10);

— викид (вихід) металу із валків також розпочинається із гальмування валків з металом, а сам закінчувальний момент викидання металу із валків виконується на знижених обертах валків до величини  $n_{\text{в}}$ , що зменшує шлях відскоку металу від валків і час паузи поміж проходами;

— розгонка стана до максимальних обертів  $\Pi_{\text{н}}$  проводиться з металом уже в процесі прокатки;

— час деформації на максимальній постійній швидкості прокатки при обертах валків  $\Pi_{\text{н}}$  збільшується зі збільшенням довжини розкату.

Час виконання проходу від запуску до зупинки валків  $T$  складається із машинного часу  $t_{\text{м}}$ , коли метал деформується поміж валками, часу холостого розгону валків та часу холостого гальмування валків до їх зупинки  $t_{\text{з}}$ .

Рекомендовані по практичним даним числа обертів валків для слябінга з індивідуальним приводом валків електродвигунами потужності 7200 кВт з чистотою обертання 0 – 53 - 80 об/хв.

Таблиця 2.10 Оберти валків

Період прокатки	Оберти валків $\Pi$ , об/хв		
	При захваті металу валками $\Pi_{\text{з}}$	При викиді розкату із валків $\Pi_{\text{в}}$	При постійній максимальній швидкості $\Pi_{\text{м}}$
1	10-15	15-20	50-60
2	20-30	25-40	50-60
3	30-40	40-45	60
4	30-40	50-60	60

Таким чином:

$$T = t_{\text{м}} + t_{\text{р}} + t_{\text{з}} \quad (2.58)$$

В свою чергу машинний час  $t_{\text{м}}$  дорівнює (тахогрант С див. на рис. 2.18):

$$T_{\text{м}} = t_{\text{np}} + t_{\text{н}} + t_{\text{з}} \quad (2.59)$$

Значення періоду часу  $T$ ,  $t_{\text{м}}$ ,  $t_{\text{п}}$ ,  $t_{\text{г}}$ ,  $t_{\text{р}}$ ;  $t_{\text{з}}$  пояснені під рис. 2.18.

Для визначення машинного часу прокатки необхідно мати данні по загальній довжині розкату, її часткам, прокатуваним з прискоренням за час  $t_{np}$   $\beta$ , на постійній швидкості за час  $t_n$  та гальмуванням  $t_2$ . В свою чергу розрахувати вищезначені складові і довжини можливі тільки знаючи оберти (швидкості) валків  $\Pi_3, \Pi_n, \Pi_6$ . В ряді підручників [9,10,11,12 та ін.] приведені методи визначення часток довжини та часу на їх прокатку. Наприклад в [9] рекомендується визначити максимальні оберти  $\Pi_m$  за розрахунками А.П. Виноградова або В.А Тягунова.

Довжина всього розкату в кожному із проходів дорівнює:

$$L_i = \frac{V_i}{0,97b_i h_i} \quad (2.60)$$

де  $V_i$  – об'єм метала в іншому проході

$b_i, h_i$ - відповідно ширина і довжина розкату на виході із валків в іншому проході;

0,97 – коефіцієнт, враховуючий заокруглення кутів розкату.

$$V_i = G_i / \gamma \quad (2.61)$$

де  $G_i$ - маса зливка;

$\gamma_i$ - щільність гарячого метала.

Необхідно врахувати щільність литої структури зливка та ущільнення метала в перших проходах:

Сталь	Щільність зливка т/м <sup>3</sup>	Після першого проходу	Після другого проходу	Після третього та послідуєчих проходів
Кипляча	6,5	6,8	7,2	7,5
Напівстарісна та нестаріюча	6,6	7,0	7,2	7,5
спокійна	6,8	7,2	7,4	7,5

Довжина частини розкату, прокатої з прискоренням за час  $t_{np}$  із середньою швидкістю обертання валків  $\Pi_{cp np} = (n_3 + n_n) / 2$  дорівнюватиме:

$$l_{np} = \frac{\Pi D}{120a} (\Pi_m^2 - \Pi_i^2) \quad (2.62)$$

По аналогії довжина частини розкату, прокатаного з гальмуванням, тобто за час  $t_2$ :

$$l_r = \frac{\Pi D}{120b} (\Pi_m^2 + \Pi_t^2) \quad (2.63)$$

Довжина частки прокатаної сталі на постійній швидкості при обертах валків  $\Pi_m$  дорівнюватиме:

$$l_{\Pi} = L - l_{\text{пр}} - l_r \quad (2.64)$$

де  $D$  - діаметр бочки валків;

$a$  - величина прискорення ( $a \approx (30 - 40) (\text{об/хв.})/с$ )

$b$  - величина гальмування ( $b = 60 (\text{об/хв.})/с$ ).

В [12] на основі рекомендацій В.А. Тягунова для випадку, коли  $n_3 = n_b$  отримана формула для визначення машиного часу проходу:

$$t_m = \frac{19,1 L}{n_m D} + \frac{a(\Pi_k - \Pi_b)^2 + b(\Pi_m - \Pi_3)^2}{2ab\Pi_m} \quad (2.65)$$

Користуючись формулами (2.62 – 2.64) та середніми швидкостями по періодам прокатки з прискоренням, усталеної та з гальмуванням визначають  $t_p$ ,  $t_m$ ,  $t_2$ , а потім по (2.59)  $t_m$ .

Час пауз поміж проходами і початкових поміж зливками визначають хронометражем. Час пауз поміж прокатами  $t_{n\text{cp}} = 2,5 - 2,70$  поміж зливками  $t_{no} = 5 - 6с$ . Тоді загальний час пауз цикла прокатки зливка:

$$\sum t_{\Pi} = (j - 1)t_{\text{пср}} + t_{\text{по}} \quad (2.66)$$

Машинний час прокатки зливка:

$$\sum t_m = t_{m_1} + t_{m_2} + \dots + t_{m_i} = \sum t_m \quad (2.67)$$

де  $i$  - кількість проходів.

Такт прокатки зливка (простий процес без перекриття операцій) дорівнюватиме:

$$T_r = \sum t_m + \sum t_n \quad (2.68)$$

На останок, декілька зауважень щодо процесу двозливкової прокатки, якій відповідна тахограма  $d$  на рис. 2.18.

За тахограми видно, що в кожному проході одна за одним впритул прокатуються два зливка. При цьому начебто вдвічі збільшується довжина розкату і його маса.

Та час такту прокатки скорочується за рахунок зменшення майже вдвічі допоміжній операцій, наприклад, часу гальмування валків без метала  $t_3$ . Під час прокатки на максимальній швидкості  $\Pi_m$  (рис 2.18, d) перед наближенням заднього кінця першого розкату пару, валки дещо пригальмовуються до обертів  $\Pi_2$ , на яких викочується і захват переднього кінця другого розкату пари. Означені особливості парної прокатки дозволяють підвищити продуктивність обтискного стану на величину  $\Delta\Pi$ , для парної прокатки визначається за формулою В.А Токарева [11]:

$$\Delta\Pi = \frac{2}{2 - K_1(2 - \frac{\tau_2}{\tau_1})} - 1 \quad (2.69)$$

де  $K=(0,50)=\tau_1/T_1$ - відношення часу пауз до часу такту при одно зливковій прокатці.

$\tau_2 / \tau_1$  - співвідношення часу пауз за парної і одно зливкової прокатки.

## 2.17 Машини і технологія

Для нових конверторних цехів передбачають спорудження спеціальних відділень безперервної розливки сталі, розміщення у відокремлених від головного корпусу будівлях. Це дає змогу знизити напруженість вантажопотоку головного корпусу й поліпшити умови праці за рахунок виносу з головного корпусу великих вогнищ відділення теплоти.

Застосування способу безперервної розливки сталі порівняно розливкою сталі у виливниці дає змогу:

- спростити процес і знизити енергетичні витрати й собівартість виробництва сталених заготовок;
- збільшити на 10 - 15% вихід блюмів і слябів із спокійної сталі;



- поліпшити якість металу внаслідок зниження хімічної неоднорідності зливка й зниження поверхневих пороків.

Процес безперервної розливки сталі реалізується на машинах безперервного лиття заготовок (МБЛЗ). Суть процесу полягає в заливанні сталі в наскрізну водоохолоджуванню виливницю – кристалізатор, безперервному витяганні затверділого зливку з виливниці й подальшому різанні зливка на мірні заготовки.

Залежно від форми траєкторії руху зливка МБЛЗ поділяються на такі типи: вертикальні, з вигином зливка, горизонтальні, радіальні та криволінійні.

У МБЛЗ вертикального типу (рис. 2.19, а) кристалізатор, вторинного охолодження й тягнуча кліть розміщені по вертикалі на 25...45 м. Метал із сталі розливного ковша 1 надходить у проміжний ковш 2, з якого він зливається в кристалізатор 3. У кристалізатор перед початком розливки вводиться затравка, яка слугує дном. Верх затравки має паз у вигляді, «ластівчиного хвоста» для зчеплення із сформованим у кристалізаторі зливком. Затравка проходить зону вторинного охолодження і входить у валки тягнучої кліті 7.

При обертанні валків затравка рухається вниз і витягує за собою зливки. Виходячи з кристалізатора зливки має всередині рідку фазу. В зоні вторинного охолодження він інтенсивно охолоджується водою, яка подається, з форсунок 4. Для запобігання розбуханню зливка від дії тиску рідкого металу передбачені обмежувальні бруси 5 і ролики 6. Після зони вторинного охолодження зливки надходить у тягнучу кліть. Затравку по мірі пересування зливка забирають. Потрапивши у валки, зливки витягується донизу колодязя і розрізається на мірні частини різачком 8.

Відрізану заготовку рольгангом 9 транспортують до пристроїв для подальшої її обробки або на склад. Недоліки вертикальної МБЛЗ – велика висота встановки й низька швидкість витягування зливка. Ці машини

раціональніше використовувати для одержання пустотілих трубних заготовок і зливків спеціального профілю.

Горизонтальні МБЛЗ не мають широкого промислового поширення через недостатню конструктивну проробку їх вузлів.

Створення МБЛЗ з вигином вертикального зливка при переведенні його руху в горизонтальну площину не дало відчутного зменшення розмірів машин по висоті, а тільки ускладнило її конструкцію. Тому такі машини не перспективні.

У високопродуктивних цехах, які виплавляють вуглецеві й низьколеговані сталі, доцільно розміщувати радіальні й криволінійні МБЛЗ.

У радіальних МБЛЗ (рис. 2.19, б) сталь зі сталерозливного ковша *1* через проміжний ковш *2* заливається в кристалізатор *3* радіальної форми. Траєкторія руху зливка на ділянці *1*, яка включає кристалізатор, зону вторинного охолодження *4* і тягоправильні ролики *5*, радіальна. Після виходу з кліти радіальної МБЛЗ зливки вирівнюють, ріжуть на мірні частини різакон *6* і рольгангом *7*, по горизонтальній ділянці *II*, подають на подальшу обробку. Радіальні МБЛЗ мають меншу висоту і вищу швидкість розливки порівняно з машинами вертикального типу і з вигином зливка. Недолік радіальної машини полягає в тому, що зливки для вирівнювання в тяговоправильних валках необхідно значно деформувати. Це утруднює лиття сталей, схильних до тріщиноутворення в гарячому стані.

У МБЛЗ криволінійного типу (рис. 2.19, в) сталь у кристалізатор надходить із ковша *1* через проміжний ковш *2*. Траєкторія руху зливка після його формування в радіальному кристалізаторі *3* має три ділянки. На ділянці *1*, до складу якої входить початок зони вторинного охолодження *4*, траєкторія руху зливка радіальна. На ділянці *II*, яка включає кінцеву частину зони вторинного охолодження і тягоправильні ролики *5*, зливки рухаються по траєкторії, в якій рівномірно збільшується радіус кривини.

Таким чином, у кінці дільниці зони вторинного охолодження зливок вирівнюється поступово, і тому деформації на цій дільниці мінімальні. Це дає змогу уникнути тріщин у зливку. На дільниці 3 траєкторія руху зливка прямолінійна. Однак криволінійні МБЛЗ порівняно з машинами радіального типу мають складну встановку роликів у кінцевій частині зони вторинного охолодження.

Залежно від числа зливок, що відливаються одночасно, МБЛЗ поділяється на одно-, дво-, чотири-, шести- й восьмирівчакові. Число рівчаків, тобто число машин, які працюють паралельно, визначає загальну продуктивність МБЛЗ. Криволінійні МБЛЗ для відливання квадратних та інших сортових заготовок 4 або 8 рівчаківими. МБЛЗ дають змогу одержувати круглі заготовки діаметром від 100 до 500 мм, квадратні – зі стороною 50 ... 40 мм і прямокутні – з розміром до 300x2500 мм.

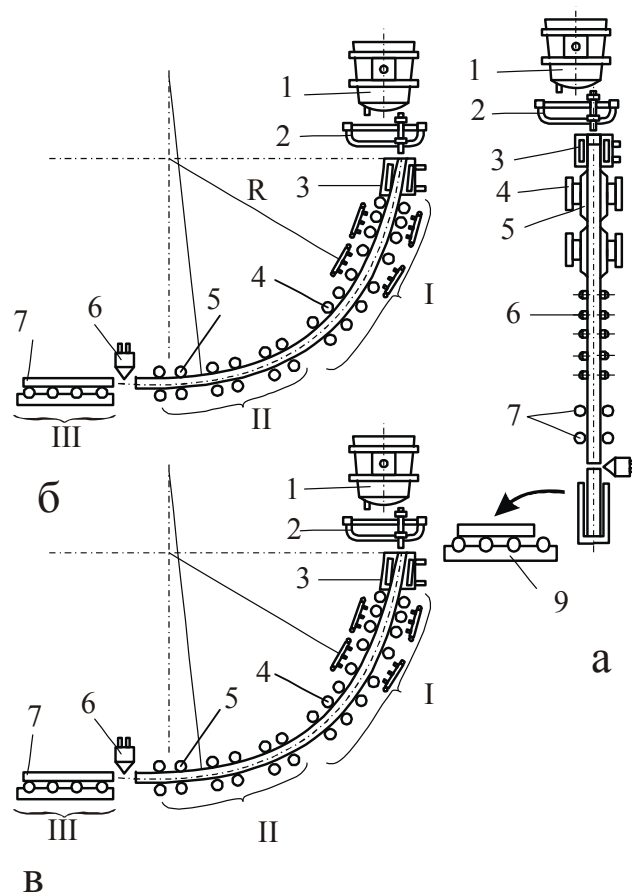


Рис. 2.19. Машины непрерывного лиття заготовок

Таблиця 2.11 Технічна характеристика деяких МБЛЗ

Тип	Вертикальна, дворівчакова	Радиальна, дворівчакова
Місткість сталерозливного ковша, т	90	350
Розміри зливка, мм:		
товщина	150-170	200-315
ширина	620-1020	1000-1900
Радіус кристалізатора, м	-	12
Швидкість лиття, м/хв.	0,4-0,2	2,5
Час розливки ковша, хв.	42-62	
Річна продуктивність, млн.. тон/рік	0,315	
Маса, т	-	3800

### **2.18 Особливості планування й різновиди відділень безперервної розливки сталі (ВБРС)**

У мартенівських, електросталеплавильних і раніше введених у дію конверторних цехах МБЛЗ розміщують у розливному прольоті головного корпусу. В проектах і діючих нових конверторних цехах, в яких сталь передбачено розливати на МБЛЗ, є окремо розміщені поблизу головного корпусу відділень безперервної розливки сталі. Таке планування за рахунок наявності аераційного розміру до 36 м між головною будівлею цеху і відділень безперервної розливки сталі дає змогу поліпшити умовні праці, як у головному корпусі, так і у відділенні розливки.

В електросталеплавильних цехах для зниження капітальних витрат на будівництво, де можна організувати раціональні вантажопотоки і умови праці, МБЛЗ розміщують у прольоті головної будови.

За плануванням розрізняють ВБРС із блочним або лінійним розміщенням МБЛЗ. План ВБРС із блочним розміщенням МБЛЗ показано на рис.2.20. До складу відділення входить проліт I для підготовки проміжних ковшів і позапічної обробки сталі, прольоти II-У МБЛЗ і прольот VI для видачі литих заготовок із відділення. Сталь у ковшах від конвенторів подають у ВБРС

сталевозами 17, які переміщуються по колії 8. Ковш краном 4 встановлюють на стэнд 16 для продування сталі аргоном або на стэнд 9 для вакуумування. Після обробки ковш краном 4 встановлюють на стэнд 10 для розливання сталі на МБЛЗ. Шлак з ковша після закінчення розливання сталі зливають у шлакові ковші, встановлені між коліями 8.

Далі порожній ковш краном встановлюють на сталевоз 17, який повертає його в головну будівлю цеху. Проміжні ковші після закінчення розливання допоміжними кранами 20 знімають з МБЛЗ у прольотах II-У, ставлять на самохідний візок 6 і передають по колії 7 у прольот I для підготовки до прийому нової плавки. Для встановлення ковшів на ремонтні стэнди служить кран 5. Підготовлені проміжні ковші аналогічно подають на робочу площадку 19 МБЛЗ, розігрівають і встановлюють для розливання сталі над кристалізатором. Відлиті на МБЛЗ лівого блока зливки візком 2, який переміщується по колії I, передають у прольот VI. укладають краном 15 на слябовіз 18 і по колії 14 транспортують до рольгангу 12. Штовхачем 13 зливок видається на рольганг 12 і доставляється на склад. Від правого блока МБЛЗ зливки візком 2 по колії 11 безпосередньо передають на рольганг 12 для подальшого транспортування на склад.

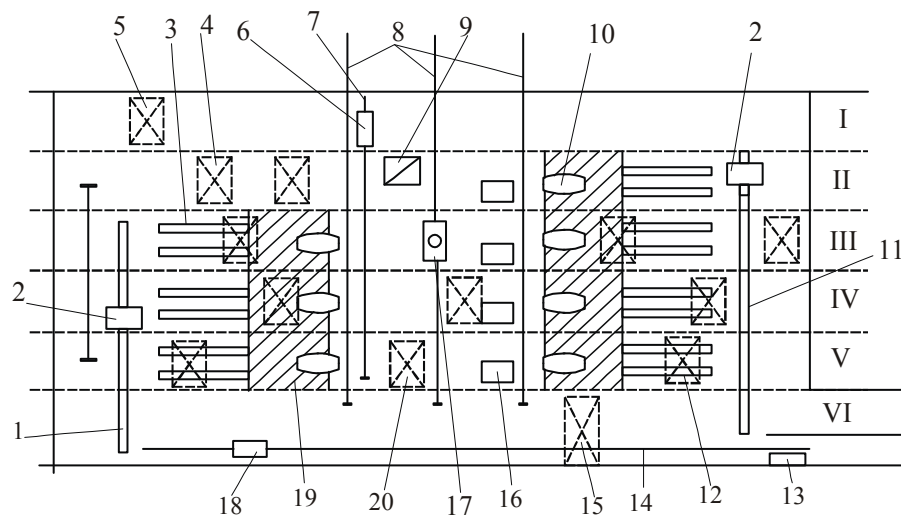


Рис. 2.20. План ВБРС з блочним розміщенням МБЛЗ

ВБРС із блочним розміщенням МБЛЗ дає змогу безперервно розливати сталь за будь-якого числа МБЛЗ, які перебувають у робочому

стані, оскільки ковш зі сталлю може бути переданий незалежно до кожної машини. Однак капітальні витрати на будівництво та устаткування таких ВБРС приблизно на 10% вищі порівняно з відділеннями, де МБЛЗ розміщені лінійно.

План ВБРС із лінійним розміщенням МБЛЗ показано на рис.2.21. До складу відділення входить прольот I позапічної обробки сталі, розподільний прольот II, прольот III МБЛЗ, прольот IV газорзок і прольот V видачі й транспортування литих заготовок. Сталь у прольот I подають у сталеварному ковші сталевозом по поперечних коліях 7. Сталевари зупиняють біля установки 6 і продувають метал аргоном, не знімаючи ковша зі сталевоза. Для вакуумування ковш знімають зі сталевоза краном 8 і передають на вакууматор 9. Після вакуумування ставлять на сталевоз і передають у прольот II. Краном 5 ковші знімають і транспортують, до МБЛЗ і встановлюють на поворотний стенд 10. Після закінчення розливання сталі ковш мостовим краном 5 піднімають і заливають шлак у шлаковозні ковші, встановлені в прольоті II. Далі ставлять на сталевоз і передають, його в головну будівлю сталеплавильного цеху для прийому чергової плавки. Проміжні ковші ремонтують у лівій частині прольотів II і III. На дільницю ремонтного прольота II ковші подають краном 5, а на дільницю ремонту прольота, ковш - на візку 3 по колії 2. Далі ковш знімають і транспортують до місця ремонту краном 12. Цим же краном ковші подають на стенди розігрівання встановлені на робочій площадці 4. Відлиті на МБЛЗ заготовки краном 17 передають на візок 16, який по колії 13 транспортує їх до рольгангу 14 для відправлення на склад.

Прольот газорізання обслуговується краном 15. який також використовується на дільниці для виконання ремонту змінного устаткування.

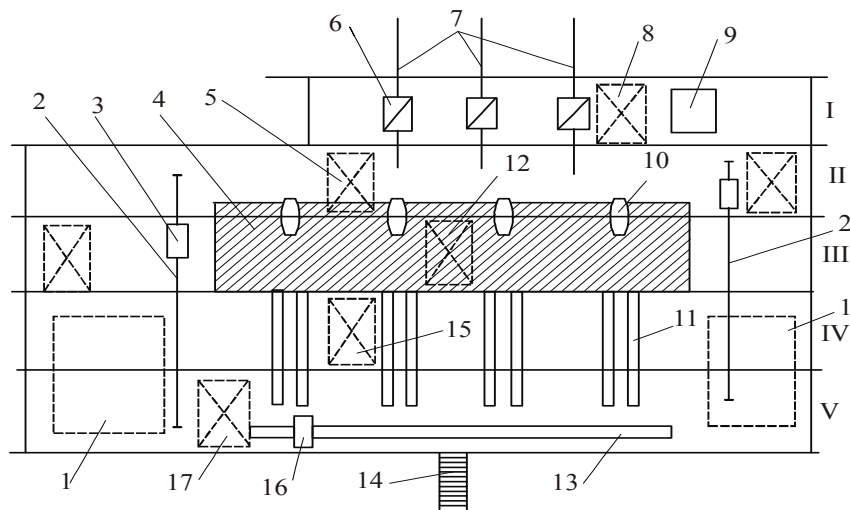


Рис. 2.21 План ВБРС з лінійним розміщенням МБЛЗ

### *Контрольні питання*

1. Дефекти поверхні зливків.
2. Способи зачистки дефектів поверхні.
3. Видалення дефектів поверхні гарячого металу.
4. Лезова зачистка дефектів поверхні.
5. Абразивна зачистка дефектів поверхні.
6. Технологічні основи переддеформційного нагріву металів.
7. Теплообмінні апарати для нагріву зливків.
8. Технологія нагріву зливків.
9. Виробництво слябів на обтискних станах.
10. Технологічні параметри прокату слябів.
11. Теплообмінні апарати для нагріву зливків.
12. Виробництво слябів на обтискних станах.
13. Технологічні параметри прокату слябів.
14. Допустимі сили прокатування в клітях дуо.
15. Режими обтисків в процесі прокатки слябів.
16. Режим швидкості прокатки на станах слябінг.
17. Машини і технологія прокатки зливків.
18. Особливості планування й різновиди відділень безперервної розливки сталі.

## 3 ПРОКАТКА ТОВСТИХ І БІМЕТАЛЕВИХ ЛИСТІВ

### 3.1 Нагрів вихідних матеріалів

В цехах з товстолистовими станами (ТЛС) плити прокатують із зливків, а товсті листи - із слябів, отриманих безперервною розливкою або прокаткою. Зливки нагрівають в камерах колодязів, устрій, експлуатація і технологія нагріву розглянуті в розділі 2.

Для нагрівання слябів використовують багатозонні (від 3 до 5 зон) методичні печі. На деяких підприємствах ще знаходяться в експлуатації печі з суцільною черінню у вигляді підлоги з вогнетривких матеріалів, яка охолоджується вмонтованими в моноліт водоохолоджуваними (проточною водою) глісажними трубами. Ці печі в цехах з ТЛС мають чотири зони з підігрівом повітря в керамічних рекуператорах до 850°C і газу – в металевих рекуператорах до 350 - 450°C. Найбільші розміри таких печей: довжина до 40 м, ширина до 10 м. Паливом є суміш доменного і коксового газів або природний газ без домішок. Печі обладнують зі сторони завантаження рольгангом і штовхачами, а зі сторони видачі слябів із печі – рольгангом з упором. При завштовхуванні холодного сляба в піч з її протилежної сторони видається нагрітий сляб. В залежності від хімічного складу температура нагріву знаходиться в межах:

- для високовуглецевих і низьколегованих 1150 – 1190°C;
- для мало і середньовуглецевих 1190 – 1290°C.

Головним недоліком методичних печей з суцільною черінню є нерівномірність нагріву слябів. В місцях нижньої поверхні сляба, відповідаючим розташуванню глісажних труб, мають місце так звані “чорні мітки”, тобто локальні непрогріті ділянки, що призводять до нестабільності розмірів ( локальної різнотовщинності) листів. Сучасні ТЛС обладнують п’яти-, шестизонними печами з рухомою черінню, яка конструктивно виконується у вигляді секцій крокуючих балок. Секції є не що інше, як механічна рука для перекладання масивних заготовок з однієї секції на іншу в напрямку вхід в піч



→ вихід із печі. Схема і режим нагріву в чотиризонній печі схематично ілюструється рис. 3.1

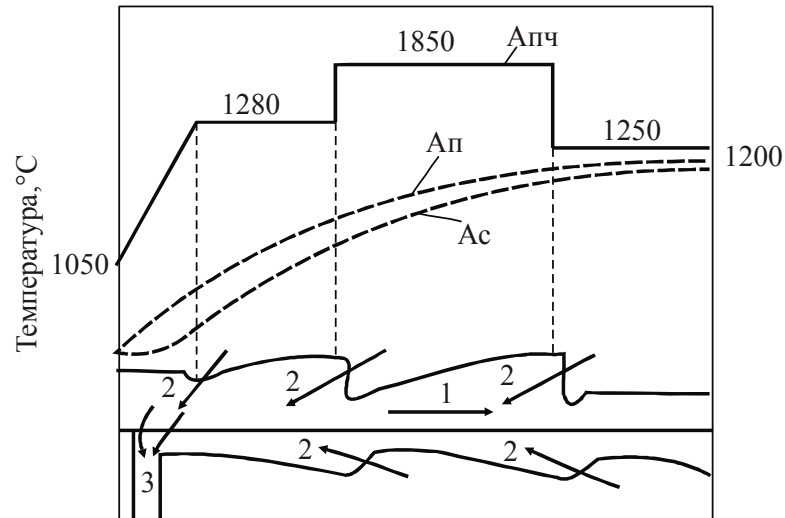


Рис. 3.1 Схема руху метала, полум'я і режим нагрів: 1- напрямок руху заготівель; 2 - напрямки полум'я від пальників; 3 - напрямок відтоку продуктів горіння (диму);  $A_{пч}$ - температура печі по зонам,  $A_{п}$ - температура поверхні метала;  $A_{с}$ - температура в серцевині заготівель.

Як видно із схеми з крокуючими балками тепло до заготовок подається, як зверху, так і знизу. При цьому заготівлі укладені не впритул одна до одної, як в печах з із суцільної черінню, а з проміжками. За рахунок всебічного підводу тепла метал нагрівається більш інтенсивно, забезпечуючи рівномірність температури слябів, як по периметру, так і по перетину і довжині. Висока інтенсивність і рівномірність нагріву дозволяє зводити до мінімуму окислення металу і зневуглицювання поверхневого шару слябів.

На рис. 3.2 наведено поздовжній схематичний переріз печі з крокуючими балками, установлений перед ТЛС 3000 металургійного комбіната в м. Маріуполі. Довжина робочого простору печі 48,7 м, ширина 6 - 6,61 м. В печі нагрівають сляби розмірами  $H = 1100 - 1900$  м і довжиною 2,5 - 5,8 м і масою до 13 т. Місткість печі 680 т, продуктивність при нагріві вуглецевих сталей – 210 т/г, низьколегованих 170т/г. Завантаження печі одно- і дворядне відповідно для коротких довжиною до 3 м і однорядне для слябів довжинами від 3,2 до 5,8 м.

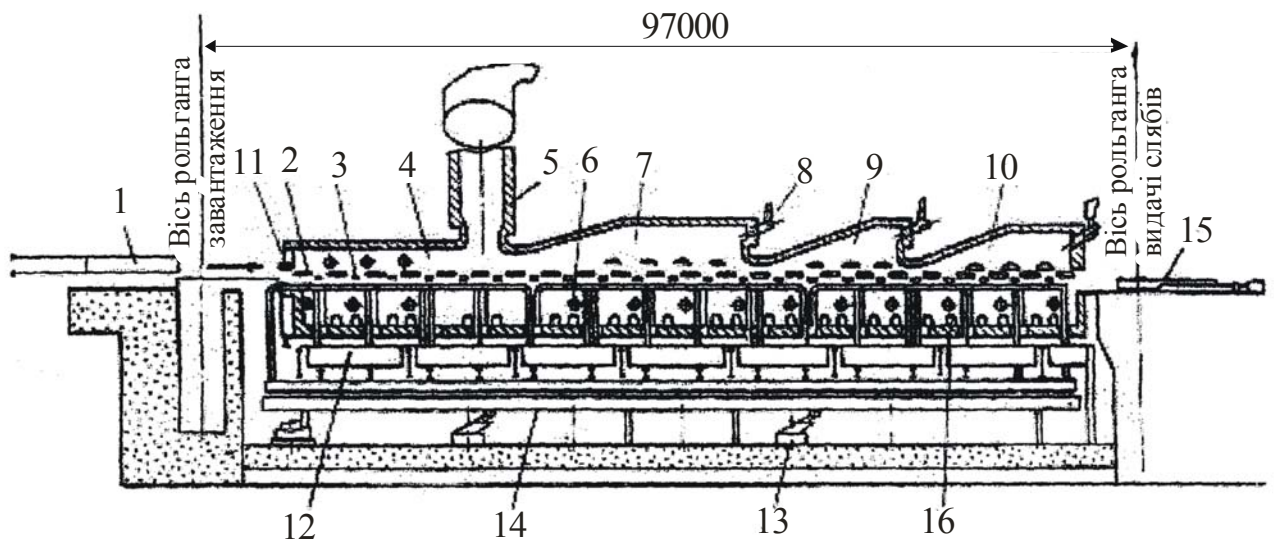


Рис 3.2 Розріз нагрівальної печі ТЛС 3000 з перекладанням слябів крокуючими балками: 1- заштовхувач слябів: В, 2:3-відповідно нерухома і рухома балки, 4 - методична зона, 5 - димовідвід, 6 - боковий пальник, 7 - друга зварювальна зона, 8 - торцевій пальник, 9 - перша зварювальна зона, 10 - томильна зона, 11 - парова запона, 12 - водяна запона, 13 - механізм під'йому крокуючих балок, 14 - пісочна запона, 15 - механізм вивантаження слябів, 16 - оглядове вікно.

Досвід будівництва та експлуатації печей з крокуючими балками показує, що за однакових порівняльних техніко-економічних показниках ці печі дорожчі за печі з суцільною черінню на 15%. В них також більші витрати палива на 11%, а води – на 80%. Не зважаючи на ці недоліки, печі з рухомою черінню є незамінними нагрівальними агрегатами для слябів із низьколегованих сталей і процесу контрольованої прокатки.

На металургійному комбінаті “Азовсталь” в м. Маріуполі цех з ТЛС 3600 обладнано п’ятизонною піччю, в якій сляби нарівають до температури 1150-1260°C. Розміри робочого простору печі: ширина 7,9 м при довжині слябів 2000 - 3400 мм; довжина – 31,5 м.

### 3.2 Товстолистові стани (ТЛС)

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 ( $\sigma_{\text{в}} \approx 800$  МПа);
- 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 кліті з діаметром валків 800 – 1000 мм. Кліті дуо внаслідок великих прогонів валків не забезпечували прокатку листів з прийнятною поперечною різновшчинністю 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 кліті підвищеної жорсткості з чотирма валками – кліті кварто. Середні робочі приводні валки відносно невеликого діаметра забезпечують прокатку зменшеним зусиллям, а неприводні опорні валки

утворюють високу жорсткість вузла і кліті в цілому, забезпечуючи високу точність розмірів і покращену якість форми товстих листів.

Технологічна лінія сучасного ТЛС по ходу прокатки складається із кліті з вертикальними валками та двох клітей кварто – чорнової і чистої установлених послідовно одна за іншою. Типовим представником три клітьового сучасного ТЛС є стан 3600 металургійного комбінату “Азовсталь” м. Маріуполь.

На рис 3.3 показано план розміщення устаткування товстолистого триклітьового стану 3600, 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.

Зливки для прокатування плит після нагрівання виймають з колодязів кліщовим краном, встановлюють у стаціонарний перекидач, який плавно опускає їх на приймальний рольганг головною частиною вперед. За допомогою поворотного пристрою зливки зважують і повертають донною частиною вперед для подальшої подачі їх до двовалкової кліті з вертикальними валками, 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. З метою інтенсифікації виведення окалини зливки пропускають через горизонтальний окалиновідламувач.

У чорній чотиривалковій кліті 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.

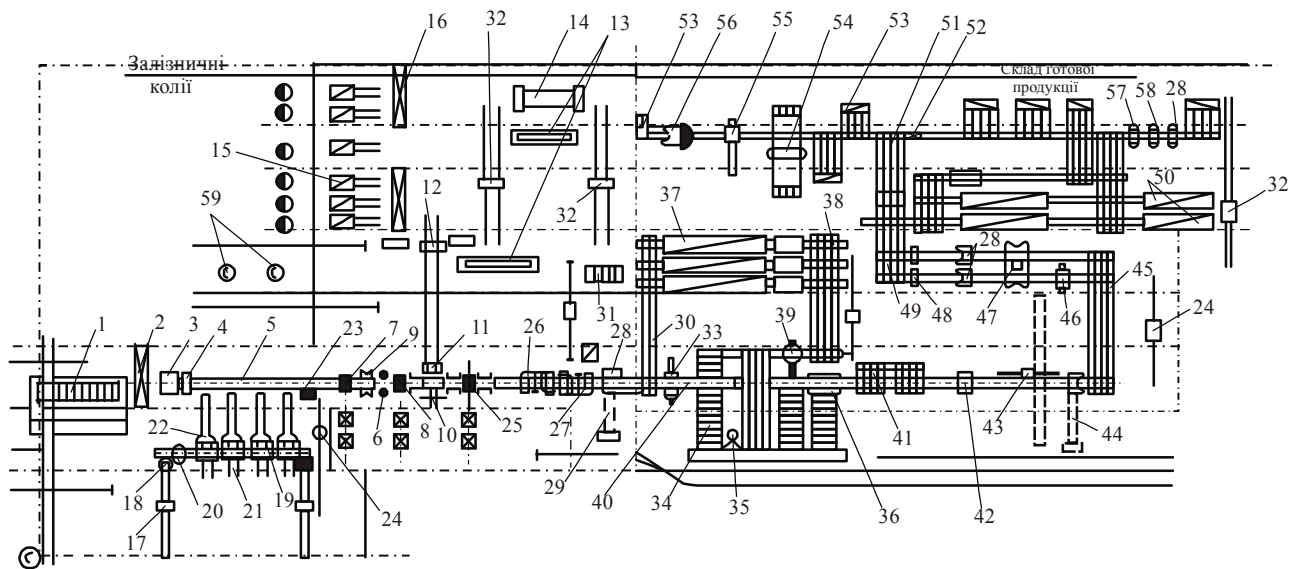


Рис. 3.3 План розміщення устаткування товстолистого двоклітьового стана 3600: I - склад слябів; II - пічний проліт; III - проліт стана; IV - склад готової продукції; устаткування для прокатки плит товщиною 51-200 мм:

- 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 /горизонтальний окалиновідламувач; 8 - чорнова реверсивна чотиривалкова кліть 1130/1800x3600; 9 - лінійки маніпуляторів; 10 - штовхач плит; 11 - підйомно-опускний 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 - печні 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 - роликів 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 - роликів правильна машина № 4; 56 - ножиці; 57 - роликів правильна машина № 5 для листів товщиною 5...20 мм; 58 - роликів правильна машина № 6 для листів 20-50 мм; 59 - димові труби.

Після повороту сляба довжиною 3000...3400 мм за допомогою рольганга з конічними роликами 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 й прокатують до заданого розміру по висоті. Товсті плити за допомогою зіштовхувача укладають у пакет на підйомно-опускному столі, далі передавальним візком направляють на ділянку вогневого різання і зачистки поверхні.

У разі потреби плити проходять термообробку в камерних печах з висувним подом.

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, 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 товщини 5...50 мм зі швидкістю до 6 м/с при температурі 830...1060°C. Після розкроювання на ножицях поперечного різання:

- листи з коробленою поверхнею виправляють у гарячому стані при температурі близько 500 °С на одинадцятивалковій правильній машині й далі рольгангом направляють для подальшої обробки і оброблення;

- листи товщиною 21...50 мм частково охолоджують у першій секції дискового холодильника, виправляють на семироликовій роликотправильній машині, 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.

- листи товщиною 5...20 мм шлепером передають у роликові пічі, після нормалізації зворотним шлепером направляють до РПМ №3 і по закінченню виправлення охолоджують у другій, третій і четвертій секціях холодильника і видають на рольганг стана;

- 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, виконують ультразвукову дефектоскопію, відбирають проби, зачищають дефекти і передають на дві лінії розкроювання 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.

На металургійному комбінаті ім. Ілліча в м. Маріуполь експлуатуються ТЛС 3000 (рис. 3.4), призначений в основному для контрольованої прокатки товстих листів із низько- і мікролегованої сталей.

Із плану цеха видно, що лівова частка промплощадки цеха зайнята устроями для фінішної обробки листів. Технічні характеристики вітчизняних товстолистових станів наведені в табл. 3.1. Зазначемо, що ТЛС 2800 Алчевського металургійного заводу було реконструйовано з метою збільшення

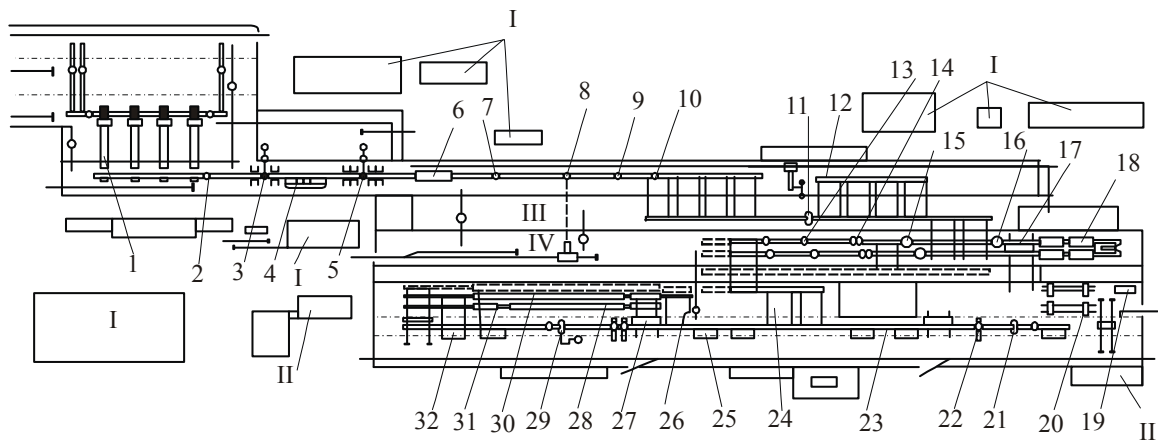


Рис. 3.4 Схема плану цеха з ТЛС 3000: I – майстерні; II - склади матеріалів; III - вальдешліфувальна ділянка; IV - склад валків; 1 - нагрівальна піч; 2 - камера гідрозбивання окалини; 3,5 - чорнова і чистова кліть; 4,6 - устрої охолодження розкатів; 7- правильна машина; 8, 11, 13, 21, 29 - ножиці; 9 - кляймувач; 10 - холодильник; 12 - інспекторські стелажі; 14 - дефектоскоп; 15 - кромкообразні ножиці; 16 - маркувальник; 17 - завантажувач-розвантажувач; 18,20 - машина абразивної зачистки; 19 - кантувач; 22 - правильна машина; 23 - розподільувач; 24 - стелаж; 25 - передавач з карманом; 27 - устрій охолодження; 28,30 - прохідні (роликові) печі; 31- роликова гартувальна машина; 32 - прибиральник з карманом для листів.

довжини бочок робочих валків до 300 мм. Чорнова кліть (табл.3.1) реконструйована в сучасну кліть кварто, обидві кліті кварто обладнали електромеханічним і гідравлічним натискним устроєм, що збільшило швидкодію регулювання зазору поміж валками, тобто дало змогу підвищити точність прокатки.

Таблиця 3.1. Технічні характеристики вітчизняних товстолистових станів  
Технічна характеристика стану 2800 Алчевського заводу

Кліть	Діаметри бочок валків, мм		Потужність електродвигунів, кВт	Швидкість прокатки, м/с
	робочих	опорних		
1-ДУО В	720*	-	880	3,0
2-ДУО Г	1150	-	2×2050	4,7
3-кварто У	800	1400	4600	5,1

\*- довжина бочки 1000 мм



Сортамент: сляби  $H_0 \times B_0 \times L_0 = 130...250 \times 900...1250 \times 1500...2000$  мм  
 листи  $h \times b \times l = 8..50 \times 2500 \times 20000$  мм

Таблиця 3.2 Технічна характеристика стану 3000 Маріупольського заводу ім. Ілліча. (Максимальне зусилля прокатки  $[P] = 60$  МН).

Кліть	Діаметри бочок валків, мм		Потужність електродвигунів, кВт	Швидкість прокатки, м/с
	робочих	опорних		
1-кварто	1000	2100	2×8000	4,5
2-кварто У	1000	2000	2×11200	6,5

Сортамент: сляби  $H_0 \times B_0 \times L_0 = 100...300 \times 1000...1900 \times 2500...2800$  мм  
 листи  $h \times b \times l = 5...25 \times 2700 \times 24000$  мм

таблиця 3.3. Технічна характеристика стану 3600 заводу “Азовсталь”

Кліть	Діаметри бочок валків, мм		Потужність електродвигунів, кВт	Швидкість прокатки, м/с
	робочих	опорних		
1-ДУО В	900*	-	2×1800	4,2
2-кварто	1130	1800	2×6920	4,4
3-кварто У	1050	1800	2×8600	6,0

Букви в назвах клітей позначають:

В - вертикальні; Г - горизонтальні; У - універсальна. Сортамент ТЛС 3600 приведено в тексті.

Найбільш потужним ТЛС є стани з довжиною бочок валків 5500 мм. Схема розташування клітей ТЛС 5500 заводу в Мідзисімо (Японія) приведена на рис. 3.5.

На ТЛС 5500 прокатують листи шириною 5300 мм, на які попит досить обмежений. Тому такі широкі розкати піддають подовжньому розрізанню (розпуску) на листи меншої ширини. Для цього ТЛС 5000 і 5500 обладнують потужними дисковими ножицями, зрозуміло, що прокатка товстих листів подвійної ширини є економічно вигідною.

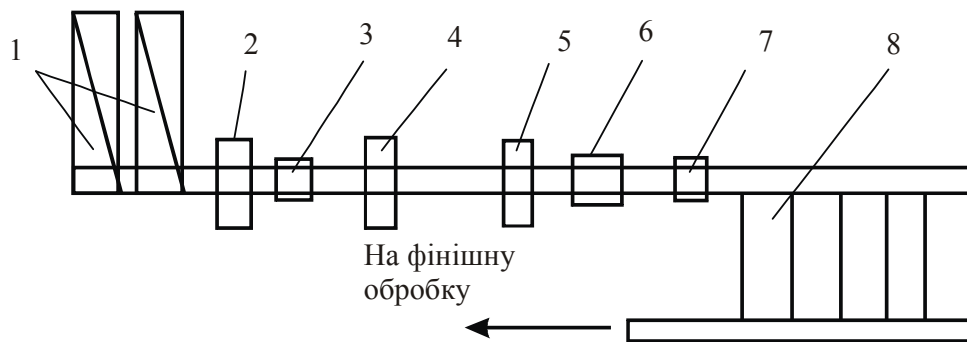


Рис. 3.5 Схема розташування технологічної лінії прокатки ТЛС 5500:

- 1 - нагрівальні печі; 2 - окалиноломач; 3 - камера гідрозбиву окалини;  
 4,5 - чорнова і чистова кліті; 6 - гартувальна – правильна машина;  
 7 - маркувальник; 8- шле пер - холодильник.

Гаряча листова прокатка має місце на товстолистових станах в чорнових клітях напівбезперервних штабoproкатних станів (в розширючій універсальній кліті).

Розробка режимів деформацій за оптимального проектування має забезпечувати:

- максимально необхідну інтенсивність обслуговування, оброблювання метала, пропускну здатність обладнання;
- якість готової продукції відповідно вимогам національного і міжнародних стандартів або вище їх норм, якщо такі задачі обумовлені в завданні на проектування;
- мінімізацію витрат ресурсів, особливо металу, енергоносіїв і електроенергії.

Проектування режиму деформації на товстолистовому стані включає розв'язування ряду задач у такій послідовності:

1. Визначення маси і розмірів слябів, відлитих на МБРС, для отримання цілого числа товарних листів для кожної сортаментної групи (в окремих групах при реконструкції діючого стану розміру слябів відомі);

2. Обґрунтування схеми прокатки: повздовжня, поперечна або змішана по усім розмірним групам листів.

Таблиця 3.4. Технічна характеристика ТЛС 5500

Максимальні розміри слябів (мм):	
товщина	100...300
ширина	2200...2400
довжина	2600...5600
Максимальна вага сляба, т	27...37,5
Розміри готових листів, мм	
товщина	5...200
довжина	<60000
Продуктивність, млн..т/рік	1,8...3,60
Чотирихвалкові кліті, діаметри валків, мм:	
робочі	1200...1230
опорні	2200...2400
Вага станини, т	365...380
Модуль жорсткості кліті, МН/мм	10...12
Потужність головного привода, кВт	2×6400; 2×8000
Швидкість прокатки, м/с	3...3,5
Стандартний допуск за товщиною, мм	0,1...0,15
Час зміни валків, хв	10...15

3. Розподіл обтисків по клітям (чорно-листова), по пропускам в кожній кліті, визначення кількості проходів і величин обтисків.

4. Призначення швидкісних параметрів прокатки для коротких, середніх за довжиною і довгих розкатів.

5. Визначення температурних умов прокатування, враховуючи деформації металу, враховуючи регламент контрольованої прокатки.

Масу сляби визначають за формулою:

$$m_c = \alpha_g \cdot n \cdot h \cdot b \cdot l \cdot \rho \quad (3.1)$$

де  $m_c$ - маса сляби;

$hbl$ - розміри товарного листа,

$\rho$  – щільність (питома вага) деформованої сталі,

$\rho = 7,85 \text{ т/м}^2$ ,  $n$  – кількість листів,  $\alpha$  - наскрізний коефіцієнт витримання метала.

Коефіцієнти витрат метала в виробництві товстих листів наведені в табл. 3.5.

Таблиця 3.5 Коефіцієнти витрачання металу двоклітьових станів

Сталь	$\alpha$
Вуглецева кипляча і напів спокійна	1,13 -1,18
Вуглецева спокійна і низько- та мікролегована	1,16 – 1,2
Середньо і високолегована	1,18 – 1,28

Якщо ширина сляби дорівнює ширині листа з пропуском на бічну обрізь, а саме:

$$b_c = b_d + (120 - 210) \text{ мм} \quad (3.2)$$

то товщина сляби визначається за виразом:

$$h \leq \frac{Q_n}{L_n \lambda_n n \alpha_n} \quad (3.3)$$

де  $\alpha_K$  - коефіцієнт витрачання листа на обрізання переднього і заднього кінців розкату без урахування бічної обрізі кромки, яка враховується за (3.2).

Деформація металу розпочинається в кліті з вертикальним обтисканням по ширині сляба, при цьому має бути механічно зруйновано шар окалини, редуковано (вирівняно) ширину. Для руйнування окалини обтиски мають бути не менше 5 мм. Більш значні обтиски вимагають проектування кліті великої пружності. Поряд з позитивним ефектом використання вертикальних клітей відбувається звуження переднього кінця розкату по довжині 700 – 1100 мм. Найбільш складною в технологічному аспекті є прокатка в чорновій кліті. Вона виконується за 5 - 11 пропусків за різними схемами прокатки, що ілюструється на рис 3.6. Всього схем прокатки товстих листів лише за умови, що ширина сляби  $v_{сл}$ . (схема) або його зовнішня сторона дорівнюють регламентуємі ширині листа з додатком (припуском) на більшу обрізь. На практиці ці схеми

майже не застосовують. Ширина і довжина слябів менші ширини листів. Це примусово змушує до практикуємих ТЛС застосовувати складні схеми прокатки.

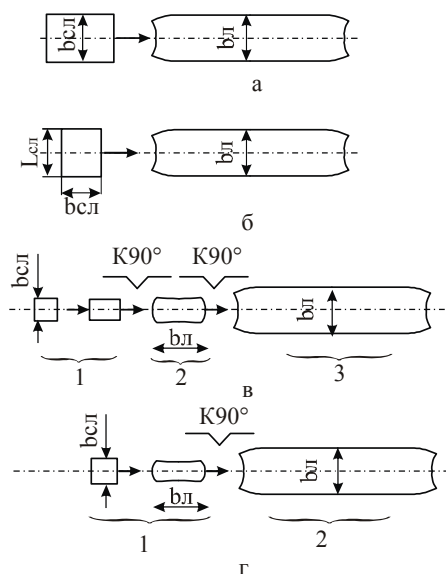


Рис. 3.6 Схеми прокатки товстих листів: а – проста повздовжня; б – проста поперечна; в – повздовжня зі збільшенням ширини заготівля сляба; г – поперечна з попереднім пропуском (протягування сляба і розкату); 1,2,3 - етапи процесу прокатки: відповідно протяжка, видовження ширини та подовження прокатки до заданої товщини (позначення розмірів в тексті).

Подовжня прокатка з розбивкою ширини (схема в) складається з трьох стадій. Перший етап – попередньо виконується два подовжні пропускання з метою вирівнювання товщини розкату і надання йому більш геометрично правильної прямокутної форми по всьому периметру. Сумарний коефіцієнт витяжки стадій  $\lambda = 1,1 - 1,6$ .

Друга стадія розпочинається з кантівки розкату (К-на схемах 3.5) на  $90^\circ$  в горизонтальній площині, коли ширина і довжина розкату змінює просторову орієнтацією. Спочатку сляб прокатується в поперечному напрямку до видовження його до необхідної величини ширини листа з припуском на бічну обрізь. Цей стан прокатки називається розбивкою ширини розкату. Сумарний коефіцієнт витяжки для розбивки ширини має складати  $\lambda = 1,7 - 3,9$ .

Третя стадія також розпочинається з кантівки (розвороту) розкату, навкруги свого центра на  $90^0$  в горизонтальній площині, завдяки чому відновлюється просторова орієнтація розкату, тобто довжина і ширина знову стають тими самими розмірами, що і на першому етапі. Власно третя стадія – це знову подавання прокатки до отримання заданої товщини листів. Поперечна прокатка з попередньою протяжкою (схема 2 на рис 3.6) складається із двох етапів: етап 1 – подовжні пропуски до тих пір, коли довжина розкату стане дорівнювати ширині товарного листа плюс припуски на обрізь бічних кромek;

Етап 2 – кантівка розкату на  $90^0$  в горизонтальній площині і подальша його прокатка в поперечному напрямку для отримання регламентованої товщини.

Прокатка на третьому етапі по схемі «в» і на другому – на схемі «г» виконується в чистовій кліті, де кількість проходів складає 5 - 9. Сумарне число проходів для кожної кліті має бути непарним, а їх кількість відповідати умові рівності часу прокатки, тобто на стані одночасно прокатуються два розкати: один в чорновій, другий – в чистовій кліті.

Подовжня схема прокатки є більш універсальною і має найменше технологічних обмежень щодо розмірів слябів. Недолік цієї схеми – дві кантівки, що збільшує час пауз і тривалість циклу прокатки. Але ця схема органічно вписується в технологію контрольованої прокатки товарних листів. Найбільш важливим є розподіл обтисків по проходам. Величини обтисків в кожному із проходів попередньо визначають за умовою захвата метала валками із відомою із теорії прокатки формулою:

$$\Delta h_{\max} \leq \alpha_{\text{вmax}}^2 R_{\text{вmax}} \quad (3.4)$$

де  $\alpha_{\text{вmax}}$  – максимальний кут захвата металу валками.

Практикою роботи товстолистових станів з регульованою швидкістю прокатки максимальні кути захвату складають: на сталевих валках  $\alpha_{\text{вmax}} = 20 - 22^0$  (0,35-0,38 рад), на чавунних валках  $\alpha_{\text{вmax}} = 17 - 18^0$  (0,3-0,31 рад).

Таким чином при прокатуванні можна приймати для прокатки на сталевих валках –

$$\Delta h_{\max} = 0,135 R_{p\text{ мтл}}$$

На чавунних:

$$\Delta h_{\max} = 0,096 R_{p\text{ мтл}}$$

Після цього величину обтисків перевіряють по обмежуючим факторам – допустимому зусиллю прокатки і допустимому крутному моменту (потужність електродвигунів валків).

Захватну здатність, тобто кути захвата і обтиски можливо збільшувати, зменшуючи колову швидкість валків в момент захвата і розганяючи валки разом з металом. При коротких за довжиною розкатах тахограма прокатки буде трикутною (рис. 3.7, а), при збільшенні довжини – трапецієвидною (рис.3.7, б).

Сумарний обтиск в чорновій кліті досягає 70 - 85% від повного сумарного обтиску, в чистовій – 15 - 30%. Поділ обтисків відповідає умові рівності циклів прокатки по клітям стана. В останньому чистовому проході обтиск не перевищує 1 – 3 мм, тобто виконується операція прасування (вирівнювання листів). Прасуванням зменшують поперечну різнотовщинність і покращують планшетність листів.

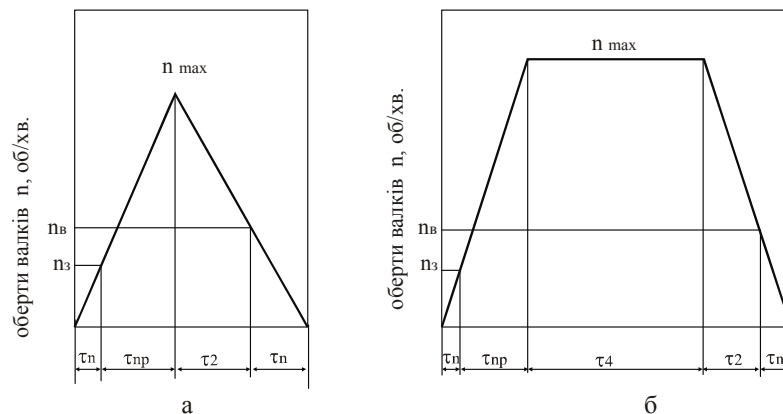


Рис. 3.7. Тахограми прокатки на тлс коротких ( а) і видовжених розкатів (б):  $n_3$  і  $n_2$  - оберти валків в моменти відповідно захвата і викиду метала із обертаємих валків,  $\tau_2$  те ж саме процесу гальмування;  $\tau_y$  – час прокатки на усталеній максимальній швидкості.

Складовою частиною проектування режимів деформації є визначення температури метала по клітям і проходам. Розрахунок падіння температури  $\Delta t$  перед кожним наступним пропуском рекомендується визначити за формулою:

$$\Delta t = 0,0021 \left( \frac{t + 273}{100} \right)^4 - \frac{\tau}{h_0} \quad (3.5)$$

де  $t$  - температура розкату в попередньому проході, °С;

$\tau$  - машинний час попереднього пропуску і послідууючої паузи, с;

$h_0$  - товщина розкату після попереднього проходу, мм.

Зниження температури вдовж кожного проходу також можливо по формулам В.А. Тягунова:

$$\Delta t = \frac{t_c - 400}{16} \cdot \frac{\tau}{h_0} \quad (3.6)$$

За цією методики можливо визначити температуру метала  $t_i$  в будь-якому  $i$ -тому проході, якщо спочатку спроектувати загальний перепад температури за увесь цикл прокатки:

$$t_i = t_0 - \frac{K}{h_i - 1} \quad (3.7)$$

Де  $t_0, K$  – температурні константи;

$h_{i-1}$  - товщина розкату перед  $i$ -тим проходом.

$$K = \frac{t_n - t_0}{h_0 - h_{n-1}} h_0 h_{n-1} \quad (3.8)$$

$$t_0 = t_n + \frac{K}{h_0} \quad (3.9)$$

де  $t_0$  і  $t_n$  - відповідно температура початку та закінчення прокатки, °С;

$h_0$  і  $h_{i-1}$  - товщина розкату перед першим і останнім проходами, мм.

У випадках коли режим деформації проектується для технології контрольованої прокатки параметри визначають по вищенаведеним формулам (3.6) - (3.9) з поділом процесу прокатки на два метода, а саме до підстудження і після регламентованого охолодження підкату.



### 3.3 Способи виробництва біметалевих листів

Богатопрощарковий матеріал (композиція) складається із двох або більшої кількості прощарків різних металів, які міцно поєднані поміж собою по всій площині сполучення і як тверде тіло являють собою єдине ціле. Якщо композиція складається із двох металів (сплавів) її називають біметалом. Кожний шар біметалу виконує в будівлі, корпусі, конструкції і т.п. свою особливу функцію у відповідності з цим їх називають основним і плакуючим прощарком. Основний прощарок зазвичай більшої товщини виконує функцію силового елемента і виготовляється із більш дешевого металу, наприклад із маловуглецевих конструкційних сталей 08, Ст.1, Ст.3, які мають найліпшу зварюваність посеред усіх сталей.

Плакуючий прощарок має спеціальне призначення і в кожному окремому випадку виконує специфічну функцію, наприклад має корозійну стійкість (нержавіюча сталь, алюміній), підвищену зносостійкість (марганцеві сталі, антифрикційні сплави), електропровідність (алюміній, мідь). Плакуючий прощарок має невелику товщину, що дозволяє економити метали і сплави: Ni, Ti, Cu, Pb, Sn.

Нічого надзвичайного нового в цьому немає, тому що технології металізації (нанесення покриття) відомі і використовуються вже довготривалий час, наприклад при виробництві жерсті, оцинкованої сталі і т.ін.

Очевидно, що багатопрощарковий прокат уявляє собою особливу групу металевих матеріалів, тобто композиції чи біметали, які отримують із напівфабрикатів із специфічними властивостями. Технологічні процеси виробництва багатопрощаркових матеріалів базується на зварюванні тиском прокаткою. При прокатуванні виникає зчіплювання різнорідних металів, яке супроводжується інтенсивними дифузійними процесами.

Найбільш поширені способи виробництва біметалів в порядку поширеності їх застосування слідує:

1. Сполука прощарків суміщеною гарячою деформацією.
2. Сполука прощарків їх сумісною холодною деформацією.

3. Сполука прошарків, як результат взаємодії розплаву одного металу з твердим іншим металом, тобто кристалізація рідкої фази на твердій підкладці з послідуною гарячою прокаткою.

4. Сполука прошарків методом надшвидкісного кидання одного металу на інший, наприклад вибуховою хвилею.

5. Сполука шляхом послідовного нанесення плакуючого матеріалу на основний електродуговою напавкою, наприклад зносостійкого сплаву на прокатні валки.

Далі будемо розглядати сутність методів виготовлення біметалів і композицій тільки прокаткою.

Простіш за все є виготовлення біметалів у вигляді відносно тонких штаб чи листів холодного прокаткою. Міцне схоплення прошарків забезпечується високоякісною зачисткою контактних поверхонь і високим тиском в осередку деформації. Зачистка виконується механічною обробкою лезовим інструментом, найчастіше фрезеруванням. А високий тиск досягається при значному відносному обтиску в першому проході в границях 50 - 75%. Холодна прокатка найширше використовується в кольоровій металургії для плакування алюмінієвих сплавів, наприклад дюралюмінію чистим алюмінієм, сталі – алюмінієм, міддю і бабітом. Біметали у вигляді сортових профілів отримують зварюванням [7].

В чорній металургії для зварювання різних сталей найчастіше виконують гарячу прокатку, за якої мають місце слідуючі схоплення прошарків [14]:

1. Метали прошарків за температури гарячої прокатки окисляються так, що окисні плівки не перешкоджають міцному схопленню прошарків. Для таких технологічних умов пакет готують у вигляді *a* (рис.3.7) без всяких труднощів.

2. Окисли нагріву перешкоджають схопленню прошарків. За для цих умов виготовляють герметичні пакети подвійні симетричні і несиметричні і потрійні відповідно *б,в* на рис.3.7. Герметизація досягається монтажем

планок поміж основним прошарками та їх зварюванням по всьому периметру пакетів, що в перерізах показано на рис. 3.7.

3. Однією або декількох складових пакету окисли перешкоджають схопленню, а в інших ні. Для цих умов гріють до прокатки складові, у яких окисли не перешкоджають схопленню, а інші накладають холодними на гарячій метал безпосередньо перед валками стана і пакет катають без герметизації.

Для технологічних умов 2 можлива і прокатка пакетів без їх герметизації. Для цього поміж плакуючим і основним прошарком наноситься тонкий шар підпрошарку, який дозволяє або має за мету:

- запобігти окисленню прошарків пакета при нагріванні;
- запобігти реактивній дифузії (перехід одного із елементів наприклад вуглецю, із одного прошарку до іншого), яка сприяє створенню крихких інтерметалевих сполук;
- підвищення здатності металів до створення міцних металевих зв'язків;
- створення пластичного і міцного перехідного прошарку по місцю зварювання.

Під час гарячою прокатки багатопрошаркових композицій із сильно окисних металів використовують стани, де процес деформації проводять в нейтральній (захисній) атмосфері або у вакуумі.

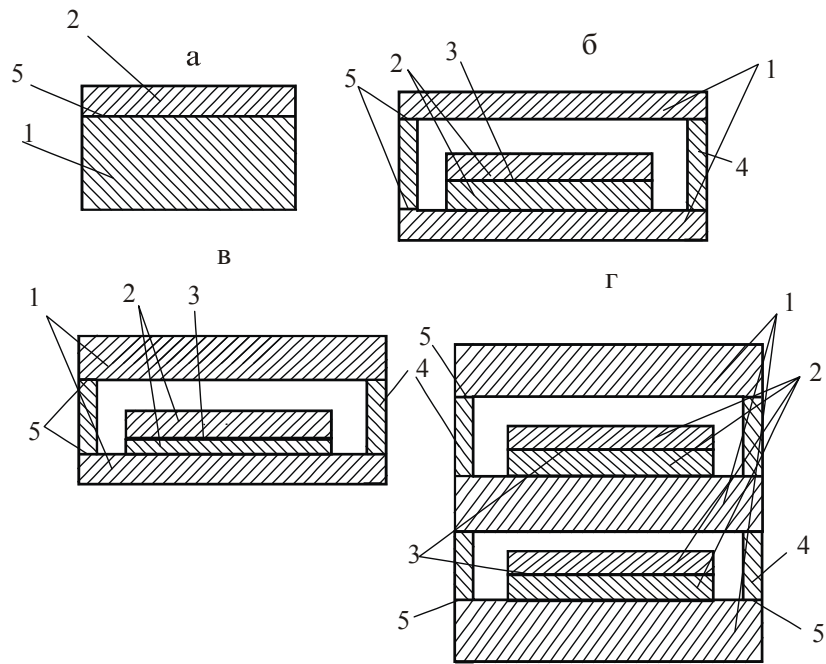


Рис. 3.8 Конструкції одинарного (а), подвійного симетричного (б), подвійного несиметричного (в) і потрійного симетричного пакетів (2):  
 1 - основний прошарок із вуглецевої сталі; 2 - плакуючий прошарок із нержавіючої сталі; 3 - проміжний роз'єднувальний прошарок; 4 - планки із вуглецевої сталі; 5 - зварювальний скріплюючий шов.

### 3.4 Механізм сполуки металів у твердій фазі

Технології виробництва біметалевих і композиційних матеріалів базується на процесах створення нероз'ємних і міцних сполук різнорідних матеріалів у твердому стані зварюванням під великим тиском.

Відповідно сучасним уявленням зварювання тиском відносять до категорії твердофазових топомічних реакцій, які проходять у декілька стадій. Із яких головними є [14]:

1. Створення фізичного контакту за рахунок мікропластичних деформацій в зоні контакту під дією прикладеного зовнішнього зусилля стискування, тобто наближення атомів сполучуваних поверхонь на відстань дії сил поміж атомної взаємодії.

2. Активація контактних поверхонь зі створення активних центрів схоплення в першу чергу на поверхні більш твердого із сполучуваних металів.

3. Об'ємна взаємодія, як у площині контакту, так і в об'ємі зі створення хімічних зв'язків. В площині процес сполуки закінчується об'єднанням дискретних осередків взаємодії, а в об'ємі – релаксацією зі створенням спільних зерен, фаз, хімічних сполук і т.п.

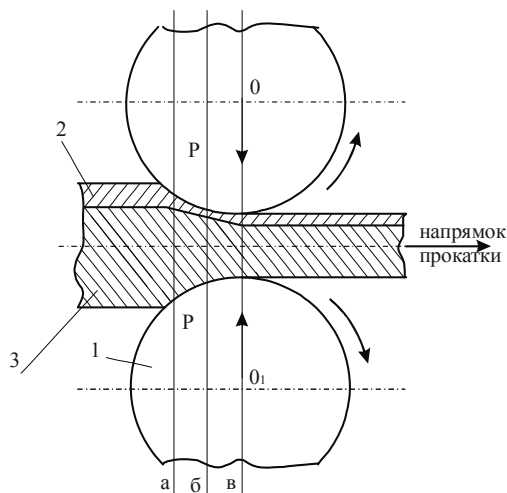


Рис.3.9 Схема прокатки біметалу із двошарового пакета (пояснення позначень наведені в тексті): 1- валки; 2 - плакуючий шар (пласт); 3 - основний шар.

На практиці рахують, що з'єднання металів у сполуку проходять за п'ять етапів, три із яких ілюструються рис.3.9 і 3.10.

На першому етапі (переріз *a-a*) відбувається зім'яття мікронерівностей поверхонь на їх контактні і часткова руйнація окисних плівок внаслідок вдавлювання нерівностей більш твердого металу в більш пластичний. За цих умов виникає контакт ювенільних поверхонь з виникненням об'єднань кристалітних ґраток, тобто з'являються вузли взаємодії *K*, поміж якими залишаються замкнуті порожнини, де розміщуються залишкові гази. Таким чином можливість подальшого збільшення кількості і площі вузлів залежить від швидкості асиміляції газів, замкнених у ловильнях поміж твердими металами.

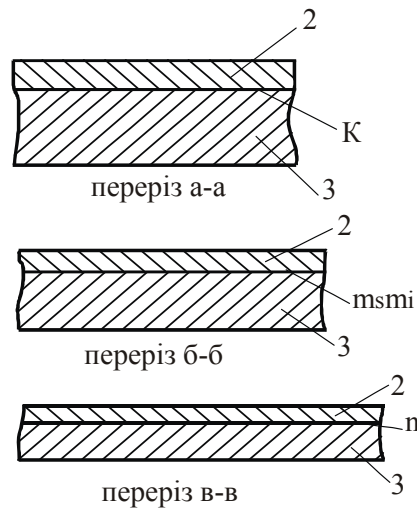


Рис. 3.10 Механізм послідовного утворення нероз'ємної сполуки різнорідних металів при зварюванні тиском методом прокатки: в перерізі *a-a* (див.рис.3.9) – вузли взаємодії *K*; в перерізі *б-б* – зони взаємодії  $m_j - m_i$ ; в перерізі *в-в* – суцільна безперервна поміж фазова межа *n-n*; 2 - плакуючий шар; 3 - основний шар

На другому етапі при зростанні тиску в осередку деформації вузли взаємодії поширюються в зони взаємодії  $m_j - m_i$  (переріз *б-б* на рис.3.9, 3.10). При цьому зростає загальна площа взаємодії металів, зменшується вільна енергія контактуючих поверхонь, з'являються зони з підвищеною концентрацією вакансій, дислокацій і інших дефектів ґраток і структури. Ці дефекти структури при високій температурі визивають розвиток дифузії поміж металами. В результаті формується перехідна зварювальна зона змішаного складу. Окисні плівки, що знаходяться поміж мостиками  $m_j - m_i$  прагнуть перетворитися на глобулярні включення з меншою вільною енергією.

На третьому етапі зростаючі взаємодії перетворюються на суцільну поміжфазову межу *n-n* (переріз *в-в* на рис. 3.9 і 3.10), пришвидчуються дифузійні процеси з одночасним роздрібленням, витяжкою і розчиненням окисних плівок, чому також сприяють рекристалізаційні процеси і інші структурні перетворення.

На четвертому етапі в процесі охолодження мають місце, як результат алотропічних перетворень, структурні та фазові перетворення. При цьому в

звареній сполуці з'являються доволі значні внутрішні напруження, які реалізуються у вигляді згину біметалу. Чим ближче співвідношення між товщинами основного і плакуючого металів до 1, тим більшим буде згин. Зігнуті листи бі - Ме виправляють поміж роликками провильних машин.

П'ятим етапом формування звареної сполуки є термічна обробка при температурі дещо вищій температури рекристалізації. При цьому проходить перекристалізація і знаття внутрішніх напружень з інтенсивним розвитком дифузійних процесів. На цьому процес створення бі - Ме закінчується.

### 3.5 Параметри прокатки бі - Ме

Прокатка це процес пластичної деформації металу поміж валками, які обертаються назустріч один одному. Для прокатки бі - Ме приймемо ті ж самі позначення, що і для прокатки цілісної штаби, які загальноприйняті в теорії і технології прокатки. Схема прокатки бі - Ме із пакета наведена на рис.3.11, а. Пакет 5, що складається із основного прошарку 3 (в подальшому основа - 0) і плакуючого прошарку 4 (в подальшому планшет - П) поміж валками 1 і 2 прокатується в бі - Ме 6.

Частка Ме АВСД, яка в дану мить деформується поміж валками називається геометричним осередком деформації, довжина якого позначена  $l$ . Позначимо розміри пакету великими, а бі - Ме - малими літерами:

$H, h$  - товщина відповідно пакету і бі - Ме;

$H_0 : h_0$  - товщина 0 в пакеті і бі - Ме;

$H_{\text{П}} : h_{\text{П}}$  - товщина П в пакеті і бі - Ме;

$B$  і  $b$  - ширина пакету і бі - Ме.

Тоді загальноприйняті в теорії прокатки коефіцієнти деформації визначаються так:

Абсолютний обтиск ( $\Delta h$ ) П, 0 і пакету відповідно:

$$\Delta h_{\text{П}} = H_{\text{П}} - h_{\text{П}} \quad (3.10)$$

$$\Delta h_0 = H_0 - h_0 \quad (3.11)$$

$$\Delta h = \Delta h_{\Pi} + \Delta h_0 = H - h \quad (3.12)$$

Відносний обтиск  $\varepsilon$  - П, 0 і бі - Ме відповідно:

$$\varepsilon_{\Pi} = \frac{\Delta h_{\Pi}}{H_{\Pi}} \cdot 100 = \frac{H_{\Pi} - h_{\Pi}}{H_{\Pi}} \cdot 100\% \quad (3.13)$$

$$\varepsilon_0 = \frac{\Delta h_0}{H_0} \cdot 100 = \frac{H_0 - h_0}{H_0} \cdot 100\% \quad (3.14)$$

$$\varepsilon = \frac{\Delta h}{H} \cdot 100 = \frac{H - h}{H} \cdot 100\% \quad (3.15)$$

Розширення - абсолютна поперечна деформація  $\Delta B$ :

$$\Delta B = B - B_0 \quad (3.16)$$

Важливим параметром прокатки є площа контакту  $F_k$  бі-Ме з валками, яка приймається однакою і зі сторони 0 і з сторони П. Фігуру  $A, A_1, B, B_1$  (рис.3.11, б) можна рахувати рівнобічною трапецією, площа - якої дорівнює:

$$F_k = B_{ср} \cdot l \quad (3.17)$$

де  $B_{ср}$  середня ширина,  $l$  - довжина осередка деформації. Із рис. 3.11 видно, що товщина пакету  $H$  дорівнює:

$$H = H_0 - H_{\Pi} \quad (3.18)$$

а товщина штаби бі - Ме буде:

$$h = h_0 - h_{\Pi} \quad (3.19)$$

Скориставшись (3.10) і (3.11) запишемо, що

$$h = (H_0 - \Delta h_0) + (H_{\Pi} - \Delta h_{\Pi}) \quad (3.20)$$

Середнє контактне зусилля під час прокатування бі - Ме визначається приблизно за виразом [7]:

$$P_{ср} = P_{ср0} C + P_{ср\Pi} (1-C) \quad (3.21)$$

де  $P_{ср0}$  і  $P_{ср\Pi}$  - середні контактні зусилля при окремому прокатуванні штаб тих же розмірів і за тих же умов із основного і плакуючого металів:

$C$  - відносна товщина 0 в пакеті в частках одиниці, яка визначається за виразом:

$$C = \frac{H_0 + H_{\Pi}}{H_0} = \frac{H}{H_0} \quad (3.22)$$



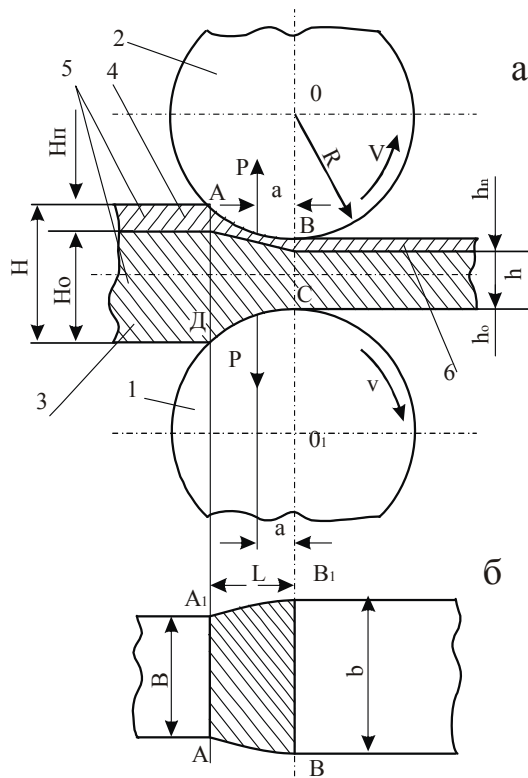


Рис. 3.11 До визначення параметрів деформації і сили прокатки біметалу а - вертикальний переріз осередку деформації; б - розміри штаби в плані (по ширині осередку деформації).

Користуючись відомими в теорії прокатки формулами, запишемо:

$$P = p_{\text{ср}} \cdot F_{\text{к}} \approx p_{\text{ср}} \cdot B_{\text{ср}} \cdot l \quad (3.23)$$

звідки:

$$P_{\text{ср}} = \frac{P}{b_{\text{ср}} \cdot l} \quad (3.24)$$

або в кінцевому вигляді:

$$P_{\text{ср}} = \frac{P}{B_{\text{ср}} \cdot \sqrt{R \cdot \Delta h_0}} \quad (3.25)$$

$$l = \sqrt{R \cdot \Delta h_0} \quad (3.26)$$

По аналогії можна записати:

$$P_{\text{ср0}} = \frac{P_0}{B \cdot \sqrt{R \cdot \Delta h_0}} \quad (3.27)$$

$$P_{\text{срII}} = \frac{P_{\text{II}}}{B \cdot \sqrt{R \cdot \Delta h_{\text{II}}}} \quad (3.28)$$

Користуючись 3.21,3.22,3.27,3.28 знаходимо ,що:

$$P_{\text{ср}} = \frac{P_0}{v_{\text{ср}} \cdot \sqrt{R \cdot \Delta h_0}} \left[ \frac{H_0}{H_0 + H_{\text{II}}} \right] + \frac{P_{\text{II}}}{v_{\text{ср}} \cdot \sqrt{R \cdot \Delta h_{\text{II}}}} \left[ 1 - \frac{H_0}{H_0 + H_{\text{II}}} \right] \quad (3.29)$$

Спростимо (3.29) користуючись алгебраїчними перетвореннями:

$$P_{\text{ср}} = \frac{P_0}{v_{\text{ср}} \cdot \sqrt{R \cdot \Delta h_0}} \left[ \frac{H_0}{H_0 + H_{\text{II}}} \right] + \frac{P_{\text{II}}}{v_{\text{ср}} \cdot \sqrt{R \cdot \Delta h_{\text{II}}}} \left[ \frac{H_0 + H_{\text{II}} - H_0}{H_0 + H_{\text{II}}} \right]$$

Тоді у спрощеному вигляді:

$$P_{\text{ср}} = \frac{H_0}{v_{\text{ср}} \cdot (H_0 + H_{\text{II}})} \left( \frac{P_0}{\sqrt{R \cdot \Delta h_0}} + \frac{P_{\text{II}}}{\sqrt{R \cdot \Delta h_{\text{II}}}} \right) \quad (3.30)$$

де  $P_0$ - повне зусилля,отримане експериментальним заміром месдозами при прокатуванні штаби 0 окремо з тими ж розмірами і за тих же умов, що і при деформації пакету.

$P_{\text{II}}$  — те ж саме для штаби із металу II.

Повне зусилля прокатки бі - Me із пакету відповідно (3.23) буде дорівнювати:

$$P = \frac{H_0}{v_{\text{ср}} \cdot (H_0 + H_{\text{II}})} \left( \frac{P_0}{\sqrt{R \cdot \Delta h_0}} + \frac{P_{\text{II}}}{\sqrt{R \cdot \Delta h_{\text{II}}}} \right) \cdot v_{\text{ср}} \sqrt{R \cdot \Delta h}$$

Або після скорочень остаточно будемо мати:

$$P = \frac{H_0 \sqrt{R \cdot \Delta h}}{(H_0 + H_{\text{II}})} \left( \frac{P_0}{\sqrt{R \cdot \Delta h_0}} + \frac{P_{\text{II}}}{\sqrt{R \cdot \Delta h_{\text{II}}}} \right) \quad (3.31)$$

де  $\Delta h_{\text{II}}$ ,  $\Delta h_0$  і  $\Delta h$  - визначають відповідно за виразами (3.11),(3.12) і (3.13)

### 3.6 Момент і потужність прокатки бі - Me

Момент прокатки бі — Me  $M_{\text{пр}}$  складається із моменту деформації  $M_{\text{д}}$  і моменту тертя в підшипниках валків,  $M_{\text{т}}$ , тобто:

$$M_{\text{пр}} = M_{\text{д}} + M_{\text{т}} \quad (3.32)$$

Момент деформації визначають по методу плеча моменту (в англійській літературі — за принципом важеля):

$$M_{\text{д}} = 2P_x a \quad (3.33)$$

де  $a$  - плече рівнодійної сили прокатування  $P$  (див. мал. 3.10),  $P$  - визначається за (3.31).

Виразивши,  $a$  через коефіцієнт плеча моменту  $\varphi$  і довжину осередку деформації, отримаємо

$$\alpha = \varphi \cdot 1 = \varphi \sqrt{R \cdot \Delta h} \quad (3.34)$$

$\varphi = 0,5$  для товстолистових станів [15]:

Тоді із (3.33) і (3.34) маємо:

$$M_D = 2P \cdot 0,5 \sqrt{R \cdot \Delta h} = P \sqrt{R \cdot \Delta h} \quad (3.35)$$

Момент тертя в підшипниках  $M_{T1}$  для клітей дуо:

$$M_{T1} = P \cdot f_{Tn} \cdot d_{ш} \quad (3.36)$$

для клітей кварто:

$$M_{T1} = 2P \cdot f_{оп} \rho_{оп} \frac{D_p}{D_0} \quad (3.37)$$

де  $f_{Tn}$  - коефіцієнт тертя в підшипниках робочих валків;

$f_{оп}$  - те ж саме в підшипниках опорних валків;

Коефіцієнт тертя  $f_n$  залежать від типу підшипника і дорівнюють [16]:

- $f_n = 0,01 - 0,02$  - для текстолітових підшипників ковзання;
- $f_n = 0,004$  - для рідшипників кочення всіх типів;
- $f_n = 0,003$  - для підшипників рідинного тертя (ПРТ);

$d_{ш}$  - діаметр шийки робочого валка;

$\rho_{оп}$  - радіус кола тертя, який для ПРТ дорівнює внутрішньому радіусу бабітової втулки або зовнішньому радіусу для підшипників кочення;

$D_p$  і  $D_0$  - відповідно діаметри бочок робочих і опорних валків.

Момент тертя в передавальних механізмах головної лінії прокатної кліті визначається через ККД (коефіцієнт корисної дії  $\eta$ ) і дорівнює при наявності редуктора в головній лінії прокатної кліті:

$$M_{T2} = \left( \frac{1}{\eta} - 1 \right) \cdot \frac{M_T + M_{T1}}{i} \quad (3.38)$$

де  $i$  - передавальне число редуктора, при відсутності якого  $i=1$ , тобто

$$M_{T2} = \left(\frac{1}{\eta} - 1\right) \cdot (M_d + M_{T1}) \quad (3.39)$$

Підсумковий ККД в (3.33) і (3.34) приймається рівним:

$$\eta = \eta_{шп} \cdot \eta_{ред} \cdot \eta_{шк} \quad (3.40)$$

де  $\eta_{шп} = 0,99$  - ККД шпинделів і муфт;

$\eta_{ред} = 0,95 - 0,98$  - ККД для кожної ступені редуктора;

$\eta_{шк} = 0,92 - 0,95$  - ККД шестерінчатої кліті

На товстолистових станах прокатки – зварювання бі - Ме виконується індивідуальний електропривод валків, тому прийнявши  $\eta = 0,98$  будемо мати:

$$M_{T2} = \left(\frac{1}{0,98} - 1\right) \cdot (M_d + M_{T1}), \quad (3.41)$$

тобто

$$M_{T2} = 0,02 \cdot (M_d + M_{T1}) \quad (3.42)$$

Необхідно також урахувати момент холостого  $M_{xx}$ , який використовується тільки для приводу валків і який дорівнює [17]:

$$M_{xx} = 0,03 \cdot (M_d + M_{T1} + M_{T2}). \quad (3.43)$$

Сума  $M_{T2}$  і  $M_{xx}$  дорівнює:

$$M_{xx} + M_{m2} = 0,02M_d + 0,02M_{m1} + 0,03M_d + 0,03M_{m1} + 0,02M_d + 0,02M_{m1}$$

Підсумувавши, отримуємо:

$$M_{xx} + M_{m2} = 0,07M_d + 0,07M_{T1} = 0,07 (M_d + M_{T1}) \quad (3.44)$$

Таким чином момент на бочках валків дорівнює:

$$M_{ПР} = M_d + (M_{T1} + M_{m2} + M_{xx}) = M_d + [M_{m1} + 0,07 (M_d + M_{m1})],$$

або в кінцеву вигляді:

$$M_{ПР} = 1,07 (M_d + M_{m1}) \quad (3.45)$$

де  $M_d$  визначають за (3.35), а  $M_{np}$  за (3.36) або (3.37).

Потужність прокатки  $N_{ПР}$  визначається за формулою:

$$N_{ПР} = M_{ПР} \cdot \omega, \text{ кВт}; \quad (3.46)$$

де  $M_{np}$  - момент за (3.37), кН м;

$\omega$  - кутова швидкість валків, яка дорівнює:

$$\omega = \frac{\pi n}{30}, \quad (3.47)$$

або

$$\omega = \frac{V}{R} \quad (3.48)$$

де  $n$  - оберти валків об/хв;

$V$  - колова швидкість валків, мм/с;

$R$  – радіус валків,мм.

Методика визначення потужності електродвигунів валків наводиться в спеціальній літературі [16,17].

### *Контрольні питання*

1. Які особливості нагріву товстих і біметалевих листів?
2. Опишіть конструкції товстолистових станів.
3. Основні способи виробництва біметалевих листів
4. Охарактеризуйте механізм сполуки металів у твердій фазі.
5. Особливості прокатки біметалів.
6. Як визначається потужність при прокатки біметалів?
7. Методика визначення моменту прокатки біметалевих матеріалів.

## 4 ВИРОБНИЦТВО ТОНКОЛИСТОВОЇ СТАЛІ

### 4.1 Технологічні лінії гарячої прокатки штаб

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 полистовим способом 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 (рис. 4.1) складаються з двох груп робочих клітей: чорнової й чистової, які послідовно розміщені одна за одною. У складі чорнової групи цих станів є вертикальна кліть, чорновий горизонтальний окалиноламач 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.

За останні роки все більш широке використання набуває транзитна прокатка гарячекатаних штаб, коли прокатка слябу ведеться без підігріву в методичних печах. Така енергозберігаюча технологія можлива при обладнанні транспортуючих рольгангів тепловими екранами і проміжним перемотувальним пристроєм коіл-бокс, який монтують після чорної групи клітей.

Завдяки використанню коіл-бокса після чорної групи клітей, задній кінець розкату, який має більш низьку температуру, задається в чистову групу як передній кінець. Тим самим запобігають виникненню температурного перепаду, тобто потовщення заднього кінця штаби, яке має місце за традиційної технології. На даний момент в світі біля п'ятдесяти безперервних і напівбезперервних широкоштабових станів, які обладнені системою змотування-розмотування проміжних розкатів (коіл-бокс), що дають змогу значно покращити якість гарячекатаних штаб; на точності розмірів і форми та відмовитися в чистовій групі клітей від технології прокатки з прискоренням або гальмуванням. Останні є неусталеними періодами процесу прокатки і важко піддаються автоматичному регулюванню, тобто зменшують стабільність і можливість автоматичного керування станом.

Напівбезперервні і безперервні стани гарячої прокатки штаб в процесі їх розвитку та вдосконалення за останні півстоліття видокремлюють декілька етапів (табл. 4.1).

Таблиця 4.1 – Етапи розвитку прокатних станів і ливарно прокатних агрегатів

Етап	Період роки	Сляби	Товщина штаби мінімальна, мм	Кількість чистових клітей	Ширина максимальна, мм	Швидкість прокатки максимальна*, м/с
1	1960-1970	катані	1,5	6	2200	22,0
2	1970-1980	катані та відлиті	0,8	7-9	2300	34,0
3	1980-1990	відлиті	1,2	7	2000	20
4	після 1990	розплав сталі	1,0	1-2	1800	5,0

\* - максимальна швидкість прийнята на виході із останньої чистової кліті

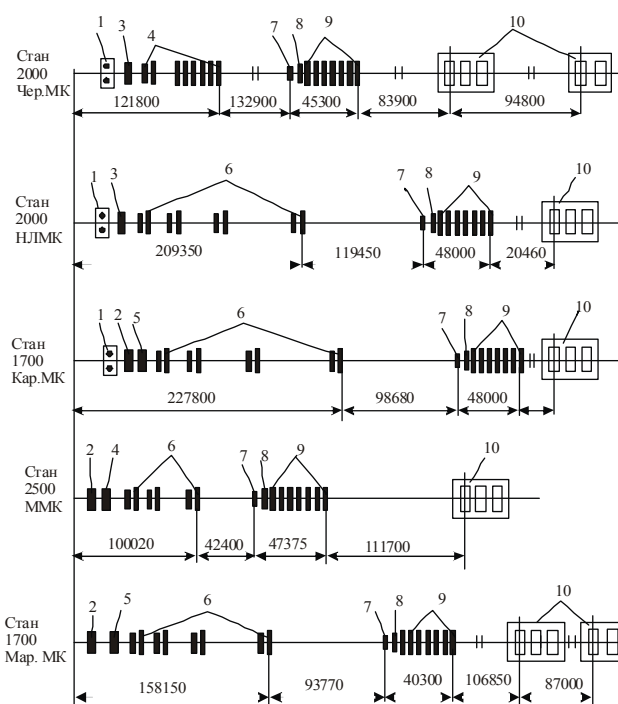


Рис. 4.1 - Схеми розміщення безперервних широкоштабових станів:

1 - вертикальний окалиновідламувач; 2 - чорновий горизонтальний окалиновідламувач; 3 - кліть дуо; 4 - розширювальна кліть; 5 - кліть кварто; 6 - універсальна кліть кварто; 7 - летучі ножиці; 8 - чистовий окалиновідламувач; 9 - кліть кварто безперервної групи; 10 - моталки; ЧерМК - Череповецький металургійний комбінат; НЛМК - Новолипецький металургійний комбінат; КарМК - Карагандинський металургійний комбінат; ММК - Магнітогорський металургійний комбінат; МарМК - Маріупольський металургійний комбінат.



Широкоштабову гарячекатану сталь на вітчизняних металургійних підприємствах прокатують на двох станах:

- БШС 1680 ВАТ МК «Запоріжсталь» (див. таб. 4.2)
- БШС 1700 комбінат ім. Ілліча (м. Маріуполь, див. таб. 4.3)

Таблиця 4.2 - Технічні характеристики та деякі параметри гарячої прокатки на БШС 1680 заводу “Запоріжсталь”.

№ клітей і їх тип	D <sub>p</sub> xL <sub>p</sub> D <sub>0</sub> xL <sub>0</sub> мм	d <sub>p</sub> xl <sub>p</sub> d <sub>0</sub> xl <sub>0</sub>	ε, %		Передаюче число редуктора	Номінальна потужність ел.двигу-ні в, N <sub>n</sub> кВт	Відстань поміж клітями, м	Швидкість прокатки, м/с	Оберти ел. дв. об/хв
			B<1200 мм	B=1250 ...1500 мм					
1Д*	900x1680-	620x-	25	20	23,99	1840	—	0,99	500
2КВУ	940x2440 1320x2440	660x750	37	35	19,26	5400	6,25	1,09	428
3КВУ	850x1680 1240x1680	480x650	40	37	19,58	3700	21,0	1,13	500
4КВУ	620x1680 1240x1680	395x650	40	37	10,15	3700	19,1	1,57	500
5 КВУ	620x1680 1240x1680	395x650	40	37	7,36	3700	25,49	2,17	500
6КВ**	620x1680 1240x1680	395x650	50	45	7,24	5000	58,77	2,2	500
7КВ	620x1680 1240x1680	395x650	50	45	4,67	5000	5,84	3,42	500
8КВ	620x1680 1240x1680	395x650	40	35	2,75	5000	5,84	5,78	500
9КВ	620x1680 1240x1680	395x650	40	35	2,0	5000	5,84	7,93	500
10КВ	620x1680 1240x1680	395x650	25	25	1,56	5000	5,84	10,14	500
11КВ	620x1680 1240x1680	395x650	15	15	1,41	5000	5,84	11,25	500

Таблиця 4.3 Технічна характеристика та головні параметри гарячої прокатки на БШС 1700 Маріупольського заводу (без віпсоламачів)

№№ клітей і їх типи	Діаметри бочок валків, мм <u>робочих</u> <u>опорніх</u>	Швидкість прокатки, м/с	Відстань поміж клітями, м	Максимально допустимий обтиск, % $\varepsilon$	Допустимі зусилля, мН моменти, кМ*м	Потужність двигунів, кВт
1кв*	<u>950...900</u> 1350... 1250	1,25	10,15	30	25 150	4000
2кв	<u>950...900</u> 1350...1250	1,25	18,6	35	25 150	4000
3кв	<u>850...800</u> 1250... 1170	2,27	22,98	30	25 110	400
4кв	<u>850...800</u> 1250.. 1170	2,27	35,42	35	25 110	4000
5кв	<u>850...800</u> 1250... 1170	2,8	53,0	40	25 90	4000
6кв**	<u>650...615</u> 1300...1280	1,32...2,5	105,72	50	20 85	5000
7кв	<u>650...615</u> 1300... 1280	1,9...3,6	5,8	50	20 70	5000
8кв	<u>650...615</u> 1300... 1280	3,75...8,15	5,8	45	20 70	7000
9кв	<u>650...615</u> 1300... 1280	3,75...8,15	5,8	40	20 70	5000
10кв	<u>650...615</u> 1300... 1280	5,95...9,5	5,8	30	20 70	7000
11кв	<u>650...615</u> 1300... 1280	5,95...9,5	5,8	20	20 70	5000

\* 1-5 – чорнові кліті; \*\* 6-11 – чистові кліті

Д-дуо; КВ – кварто; КВУ – кварто універсальні;

О – опорні; Р – робочі; Ш – ширина валків

Обидва стани були останнім часом реконструйовані. Так на стан БШС 1680 встановили койл-бокс і теплозберігаючі пристрої, замінили моталки та

інше обладнання для забезпечення технології транзитної прокатки слябів подвійної довжини схемою зливок-сляб-штаба [18]. На БШС 1700 реконструйовано чистову групу, кліті, які обладнали гідравлічними натискними пристроями, противовагами валків і стопами осевого зсуву робочих валків. Цей же стан обладнано також САКТП (система автоматичного керування автоматичними процесами) [19]. Реконструкція БШС 1680 і 1700 продовжується.

Характеристики деяких зарубіжних БШС наведені в таблиці 4.4

Таблиця 4.4 Стислі технічні характеристики БШШС гарячої прокатки

Завод, фірма, країна, сіан	Група клітей	Кількість і тип клітей	Розміри валків, мм	Розміри слябів, штаб, мм	Максимальна швидкість прокатки, м/с	Загальна потужність двигунів клітей, тиск, кН
КМК Казахстан БШШС 1700	Чорнова	1-ВПЛВ 1-ВПЛГ 1-КВУ 4-КВУ	1000x700 1150x1700 1000/1400x1700 950/1400x1700	165...240 X 730. 1550	18,0	77,5
	Чистова	7-КВ	700/1400x1700	1,6. .12 x 700..1500		
НЛМК Росія БШШС 2000	Чорнова	1-ВПЛВ 1-ДР 4-КВУ	1200x300 1200x2000 1200/1600x2000	200. . . 250 x 900. . . 1850	20,0	119
	Чистова	1-ВПЛГ 7-КВ	800x2000 800/1600x2000	1,2. . .12 x900. . .1850		
Солмер Франція БШШС 2285	Чорнова	1-ВПЛВ 1-ДР 2-ДУ 2-КВУ	1220x300 1270x2285 1270x2285 1170/1625x2285	180.. 220 x 2135	27,0	105
	Чистова	8-КВ	760/1625x2285	1... 16x 600...2135		
Янгстоун Шіті Тиоб США БШШС 2135	Чорнова	1-ВПЛВ 2-ДР 1-ДУ 3-КВУ	1145x300 1270x2135 1270x2135 1120/1570x2135	До 305 x 1980	21,9	105
	Чистова	7-КВ	725/1575x2135	1,2... 12,7 x 460... 1980		
Сін Ніннон Світецу Японія БШШС 2285	Чорнова	1-ВПЛВ 1-ДР 3-КВУ	1220x300 1270x2285 1270/1630x2285	150. . 300 x 2100	30.0	120
	Чистова	8-КВ	815/1630x2285	1,2 . .16x 600...2100		

Продовження табл. 4.4

Аугуст Тісен Хюйте Німеччина БШПС	Чорнова	1-ДУР 3-КВУ	1220x2300 925/1525x2250	305 x 1980	21,9	105
	Числова	4-КВ 3-КВ	750/1525x2235 700/1525x2235	1,5... 12,7 x 700. .2080		
Клекнер- Веркс Німеччина БШПС 2250	Чорнова	1-ВПЛВ <i>1-ДР</i> 1-КВУР 5-КВУ	1200x300 1300x2285 1300/1700x2250 1200/1700x2250	150...300 x 600 2200	25	76
	Чистова	7-КВ	750/1600x2250	1,2.. 20 x600 .2150		

В наш час більшість нових розробок спрямовані на розробку технології прямої кристалізації – прокатки в водоохолоджувальних валках (рухомий кристалізатор) штаб із розплаву сталі та прокатки тонких штаб із відносно тонких відлитих на МНЛЗ, проміжних штаб.

#### 4.2 Технологія прокатки штаб на БШС

Із рис. 4.1 видно що найпотужнішим за складом технологічної лінії прокатки є БШС 2000 Череповецького металургійного комбінату («Северсталь», Росія). План розміщення технологічної лінії стана допоміжного та обслуговуючого обладнання ілюструється на рис. 4.2. БШС призначений для гарячої прокатки штаб товщинами 1,5 – 16 мм і ширинами 1000 – 1850 мм. Вихідною заготівлею є сляби товщиною 230 - 300 мм, довжиною 10,5 м і масою до 36 т. Сляби отримують безперервною розливкою. Максимальна швидкість прокатки – 27 м/с.

Сляби на складі вантажать стопою (масою до 160 т) на візок, який передає їх у прольот нагрівальних печей. Тут за допомогою підйомною столу і зі штовхача вони поштучно укладаються на завантажувальним рольганг, який передає їх до нагрівальної печі з крокуючими балками. По мірі транспортування сляби зважують і здвоєним штовхачем задають у піч. Після нагрівання до 1250 °С сляби спеціальним приймальним пристроєм видають на пічний рольганг, який направляє їх у лінію стана. Стан 2000 складається із 13 горизонтальних робочих клітей, з яких у чорновій групі п'ять клітей (одна двовалкова й чотири універсальні чотиривалкові) і в безперервній чистовій

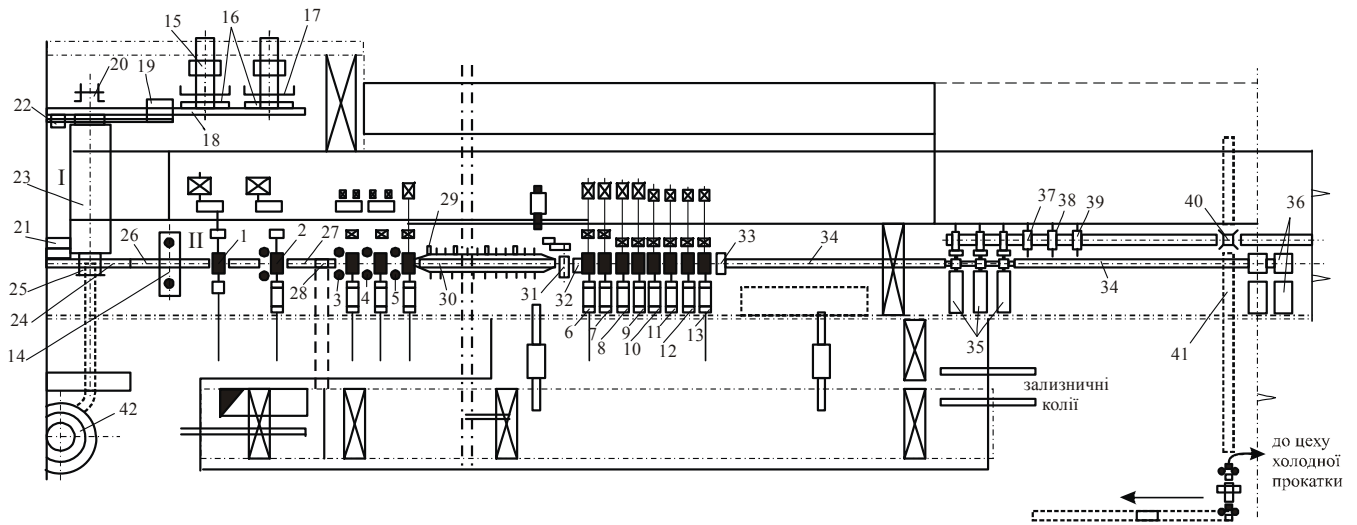


Рис. 4.2 План розміщення устаткування безперервного широкоштабового стана 2000: I - проліт нагрівальних печей; II - проліт стана; 1 - чорнова двовалкова кліть; 2 - чорнова чотиривалкова універсальна кліть; 3-5 - безперервна чорнова група з трьох універсальних клітей; 6-13 безперервна чистова група з 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 - напрямні 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.

Діаметр валків вертикальної кліті – 1200 мм, довжина бочки – 650 мм, привод валків індивідуальний від двох електродвигунів потужністю по 630 кВт кожний. Після вертикальної кліті розкат надходить у чорновий двовалковий окалиноламач з горизонтальними валками, де остаточно виводять окалину. Чорновий горизонтальний окалиноламач має валки, діаметр яких 1400 мм, а довжина бочки 2000 мм. Валки мають загальний привод з електродвигуном потужністю 5000 кВт. Після окалиноламача розкат послідовно проходить через чотири чорнові універсальні кліті кварто, в яких діаметр опорних валків становить 1600 мм, робочих - 1180 мм, а довжина їх бочки - 2000 мм. Привод робочих валків кліті 2 здійснюється від електродвигуна потужністю 5000 кВт. Вертикальні валки клітей мають діаметр 1000 мм, довжину бочки 470 мм і загальний привод потужністю 640 кВт. Три останні універсальні кліті складають безперервну чорнову групу. Таке розміщення клітей дало змогу зменшити довжину стана на 40...50 м і поліпшити температурний режим прокатки.

Робочі чотиривалкові кліті 3 і 4 мають аналогічні приводи обертання валків від двох електродвигунів потужністю 2х6300 кВт через загальний редуктор і шестерінчасту кліть. Кліть 5 має безредукторний привод робочих валків від двоякірного двигуна постійного струму потужністю 2х6300 кВт через шестерінчасту кліть. Перша чистова чотиривалкова кліть віддалена від останньої чорнової кліті на 132 м. На проміжному рольгангу, який з'єднує ці кліті, температура розкату товщиною 30...50 мм має становити близько 1050...1150°C. Рольганг обладнаний напрямними лінійками і зіштовхувачем розкату, який має понижену температуру або інші дефекти, з лінії стана в боковий карман.

Підкат після чорнової групи рольгангом подають до летучих ножиць із зусиллям різання 3 МН, на яких обрізають передній і задній кінці розкату. Чистовий окалинолач роликового типу, який призначений для виведення повторної окалини, має дві пари притискних роликів діаметром 500 мм з

Після виходу з останньої чистової кліті штаба охолоджується і змотується на роликотбарабанних моталках. Швидкість входу штаби в моталку повинна дорівнювати 10...12 м/с. Тому після входу в моталку всі чистові кліті одночасно розганяються до робочої швидкості й здійснюється безперервний процес прокатки штаби в клітях до потрібної товщини.

Перші три моталки стана призначені для змотування штаби товщиною 1,6...4 мм, дві кінцеві - для штаби 4...16 мм. Відвідний рольганг має довжину 100 м і призначений для охолодження штаби, яка рухається по ньому, душируючими пристроями. Після змотування рулон знімається з барабана моталки візком-зйомником і встановлюється у вертикальне положення на ланцюговий транспортер. Рулони штаби обв'язують, маркірують, зважують і передають у цех холодної прокатки або на оброблення.

Стан 2000 після модернізації має систему автоматичного керування технологічними процесами (САКТП). Для підвищення надійності і стабільності роботи САКТП, кліті стану обладнані месдозами, групи клітей безконтактними товщино- і шириновимірювачами, а також вимірювачами температури після прокатки вздовж всієї ТЛ стана від печей до моталок. Валкові вузли останніх клітей чистової групи обладнані пристроями швидкісного регулювання профілю валків і геометричної форми штаб. Таким чином система автоматичного керування складається із локальних підсистем:

- САРТ – система автоматичного регулювання товщини;
- САРН - система автоматичного регулювання натягу;

- САРШ - система автоматичного регулювання швидкості прокатки;
- САКПОР система автоматичного керування подачею охолоджуючої рідини;
- САСiСМе -система автоматичного спостереження і супроводження металу ті ін.

### **4.3 Технологія прокатки на напівбезперервних широкоштабових станах**

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 окалиноламач, реверсивні дво- і чотиривалкові кліті. До чистової групи входить 5 - 7 клітей кварто. Перед чистовою групою встановлюють летучі ножиці та окалиноламач. Готову сталь змотують у рулони.

На напівбезперервних широкоштабових станах можна порівняно з безперервними виробляти листову сталь ширшого сортаменту. Однак ці стани мають малу продуктивність і низьку якість поверхні листів.

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. До таких станів можна віднести НШС 810. У комбінованих напівбезперервних широкоштабових станах чорнова група фактично є товстолистовим станом. Після прокатування в цій групі метал направляється в чистову групу клітей для одержання тоншого розкату або йде на оброблення й термічну обробку. Приклади комбінованих станів НШС 2800/1700 і НШС 2300/1700. На рис 4.3 показано план розміщення устаткування комбінованого



Сляби після нагрівання до температури прокатки видаються на приймальний рольганг, який передає їх у лінію прокатки. У чорновій групі прокатуються товсті листи. Тут розміщений вертикальний окалиноламач, який обтискає бокові кромки й виводить окалину. Далі розкат надходить у реверсивну розширювальну кліть дуо 1100x2300 мм, де прокатують за кілька проходів. Остаточню товсті листи прокатуються в реверсивній чорновій універсальній клітці кварто 750/1400x2300 м.

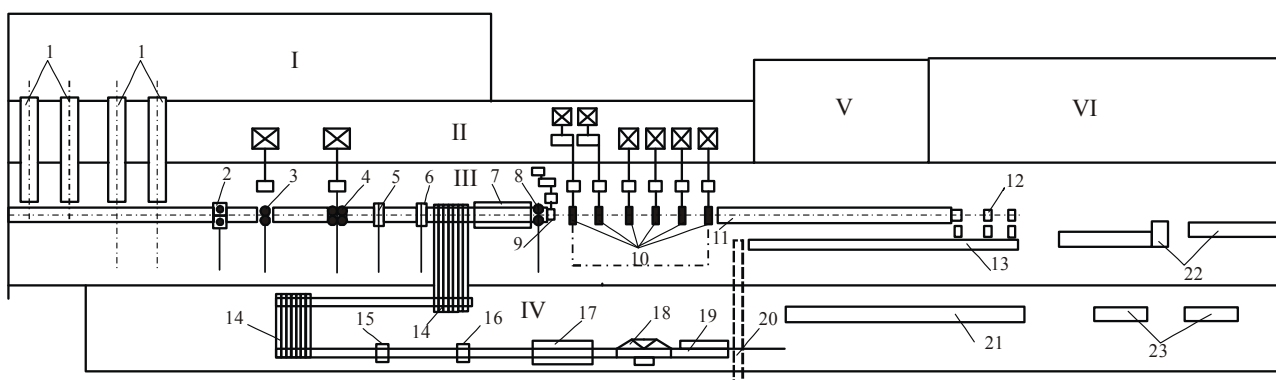


Рис. 4.3. План розміщення устаткування комбінованого напівбезперервного широкоштабового стана 2300/1700: I – склад слябів; II – проліт стана; III – проліт обробки товстолистого прокату; IV – склад готової продукції; V – майстерня; 1 – нагрівальні печі; 2 – вертикальний окалиновідламувач; 3 – чорнова розширювальна кліть дуо 1100 x 2300 мм; 4 - універсальна кліть кварто 750/1400 x 2300 мм; 5 - ножиці гарячого різання; 6 - пересувна роликівна правильна машина; 7 – підігрівальна роликівна піч;

8 – летучі ножиці для обрізання кінців штаби; 9 – чистовий окалиновідламувач дуо; 10 – чистові кліті кварто 700/1400x1700 мм безперервної групи; 11 – відвідний 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.

Товсті листи ріжуть на ножицях гарячого різання, виправляють на пересувній роликотправильній машині й направляють для охолодження на транспортер - охолоджувач. Після охолодження товсті листи проходять дискові ножиці, де обрізають кромки, а на гільйотинних ножицях листи розкроюються на мірні частини. Тут же є листоукладач і стелаж. Далі залежно від вимог технології товсті листи проходять термообробку й травильні машини.

При прокатуванні тонких штаб товсті листи після чорнової групи направляють у підігрівальну роликову піч, а далі в чистову безперервну групу клітей кварто 700/1400 x1700 мм. Перед входом у чистову групу летучими ножицями відрізають кінці штаби і виводиться окалина в чистовому окалиновідламувачі дуо. Після виходу з чистової групи клітей тонку штабу змотують у рулони моталками. Рулони від моталок подають транспортерами в цех холодної прокатки або направляють на агрегати різання.

Напівбезперервний широкоштабовий стан 2800, схема розташування обладнання якого наведена на рис. 4.4, призначений для гарячої прокатки алюмінію, дюралюмінію та інших алюмінієвих сплавів. Відлиті сляби розмірами: товщина 192 - 210, ширина 1650 - 2000, довжина 1150 - 2650 мм фрезеруються, обезжирюються в миючих розчинах і висушуються. На спеціальних стелажах на широкі гарячі сляби накладаються планшети із чистого алюмінію. Отримані пакети нагрівають в двокамерних електричних конвеєрних печах до температури 460 - 480 °С. Нагріті пакети або сляби

прокатують за кілька проходів, в першій чорновій кліті кварто до товщини 65-85 мм, в другій чорновій кліті до товщини 14 - 30 мм. Плити товщиною 25 - 60 мм, шириною 1000 - 2500 мм і довжиною 10000 мм прокатують тільки в чорнових клітках. Товсті плити товщиною 6 - 25 мм, шириною 1000 - 2500 і довжиною до 10 м отримують після прокатки в клітках чистової групи. Також аналогічно прокатують штаби товщиною 3 - 6 мм і шириною 1000 - 2500 мм, які після виходу із останньої кліті згортаються в рулони на моталках. Швидкість прокатки в середньому складає 5 м/с.

Гарячекатані рулони передаються на холодну прокатку. На цьому ж стані прокатують штаби із чистого алюмінію для послідуєчого виготовлення планшетів.

Напівбезперервні широкоштабові стани (рис. 4.3 і 4.4) порівняно з БШС (рис. 4.2) мають меншу довжину технологічної лінії, що зменшує площу цеха, довжину комунікацій і енергомережі. Крім того напівбезперервні стани більш гнучкі в технологічному аспекті, що дає можливість прокатувати продукцію широкого сортаменту, а саме плити, товсті і біметалічні листи і широкі штаби. З іншої сторони напівбезперервні стани порівняно з безперервними мають меншу продуктивність. Таким чином БШС ГП є оптимальними технологічними лініями для прокатки широких штаб обмеженого сортаменту за розмірами і хімічним складом сталі.

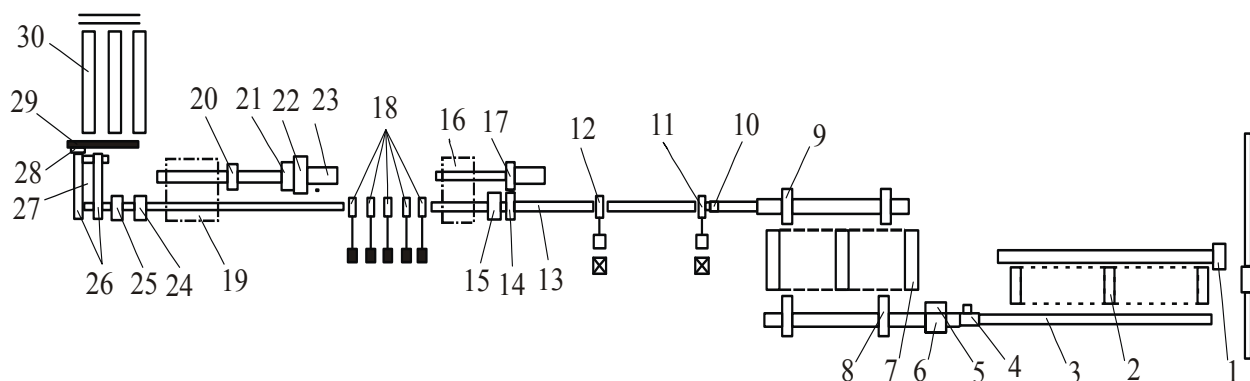


Рис. 4.4. Схема розташування технологічної лінії напів-безперервного стана 2800 для гарячої прокатки алюмінію і його сплавів та біметалічних листів: 1 – розкладальник слябів; 2 – фрезерний верстат; 3 – рольганги; 4 – мийно-сушильний агрегат; 5 – обкладальник планшетів; 6 – кантувач;

7 – нагрівальні печі; 8,9 – виделковий кран; 10 – вертикальна кліть; 11 – кліть кварто 900/1400x2800; 12 – кліть кварто 750/1400x2800; 13 – рольганги; 14,17, 20, 24 – гільйотинні ножиці; 15, 21, 25 – дискові ножиці; 16 – шле пер подачі плит; 18 – чистова група п'яти клітей кварто 650/1400x2800; 19 – шле пер передачі товстих листів; 22 – правильна машина; 23 – розкладальник листів; 26 – моталка; 27 – вагівниця; 28 – візок-кантувач рулонів; 29 – конвеєр; 30 – печі відпалу рулонів.

#### 4.4 Технологічні лінії гарячої прокатки високоміцних і спеціальних сталей

Тонкі гарячекатані штаби товщиною 0,5 - 3,0 мм із високо- і надміцних та спеціальних сталей, наприклад електротехнічних з високим вмістом кремнію, прокатують на станах, які мають реверсивну проміжну або навіть випускную кліть. Реверсивна кліть з обох сторін обладнана моталками, розміщеними в нагрівальних печах, що дозволяє проводити деформацію за постійної температури метала. Така технологічна перевага надважлива для важкодеформуємих сталей і сплавів з вузькими температурним інтервалом пластичності. Крім того, кількість проходів в реверсивній кліті з моталками в печах взагалі не обмежується, в цей час як на безперервному стані кількість проходів обмежена і по максимуму дорівнює кількості робочих клітей.

План розміщення устаткування напівбезперервного стану з моталками в печах показано на рис. 4.5.

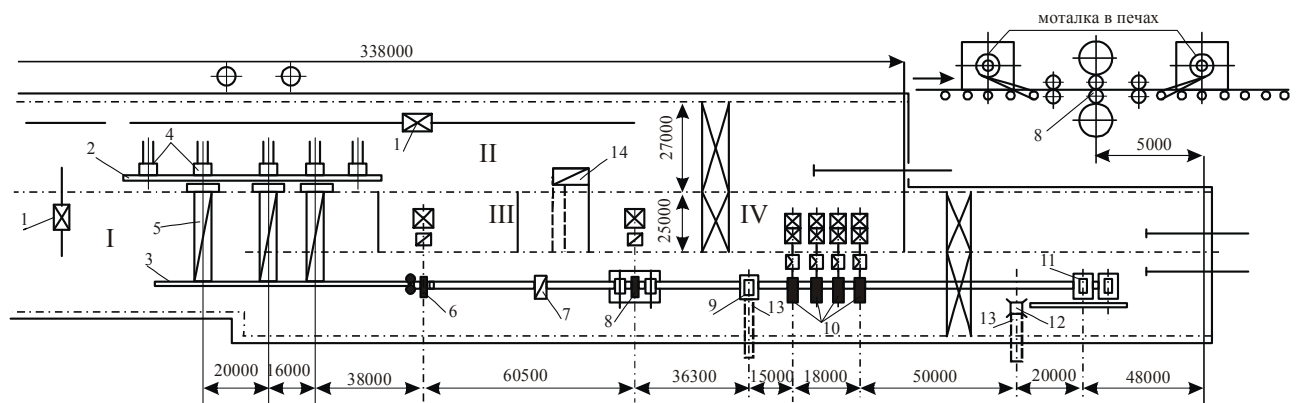


Рис. 4.5. План розміщення устаткування напівбезперервного стана 1300 з моталками у печах: I – склад слябів; II – проліт зачищення; III – проліт стана: 1 – візок слябів; 2 – рольганг; 3 – стіл слябів; 4 – штовхач; 5 – нагрівальні печі; 6 – чорнова реверсивна універсальна кліть; 7 – гільйотинні ножиці з нижнім різом; 8 – чистова реверсивна кліть кварто з моталками у печах; 9 – моталка проміжна; 10 – безперервна група клітей кварто; 11 – моталки; 12 – поворотний круг; 13 – транспортер подачі рулонів у цех холодної прокатки; 14 – яма для окалини.

Стан та його технологічна лінія в повному складі ефективна для прокатування листів широкого сортаменту при невеликому обсягу виробництва. До складу стана входить шість послідовно розміщених клітей, з яких одна чорнова універсальна реверсивна кліть /900x1300 мм, 1x3200 кВт/, одна чистова реверсивна кліть кварто /600/1300x1300, 1x3500 кВт/ і безперервна група з чотирьох клітей кварто /600/1400x1300, 2x2000 кВт/. Листи прокатують із слябів розміром 150x1100x15000 мм, масою до 7,5 т, які надходять від МБЛЗ. Готова сталь у рулонах має товщину від 1,8 до 3,5 мм и ширину 1100 мм. Продуктивність стана – 700 тис. тон за рік. Сталь може прокатуватися як з моталками, так и без них.

Литі сляби подають передавальним візком із складу литих слябів у прольот нагрівальних печей. Краном сляби передають на пічний рольганг і далі в піч, де їх нагрівають до температури 1250 °С. Після нагрівання в печі зливки вивантажують на рольганг і подають у прольот стана. Тут сляби прокатуються за кілька проходів до одержання штаби товщиною 20...25 мм, яка направляється до гільйотинних ножиць для обрізання переднього кінця. Потім підкат направляють у чистову реверсивну кліть кварто з моталками в печах, де здійснюється прокатування за 5 - 7 проходів при температурі 900 °С. По закінченні прокатування штабу змотують у рулон на проміжній моталці. Процес прокатування закінчують і рулон транспортером направляють у цех холодної прокатки. За іншою схемою для одержання тонкого профілю штаба

після чистової кліти кварто направляється в чистову безперервну групу клітей, а потім після прокатування вона змотується на кінцевих моталках.

Рулони готової сталі відправляють у цех холодної прокатки. Штаба може прокатуватися й без участі моталок у печах.

Безперервна група клітей дає змогу одержати мінімальні відхилення розмірів штаби по довжині й ширині.

Одним із варіантів компактного напівбезперервного стану запропоновано фірмою “Blan-Knax Foundry and mill Machinery” (США) є технологічна лінія зі зломом лінії прокатки під кутом 180°. Такі стани ще називають зворотньо-напівбезперервними (рис 4.6).

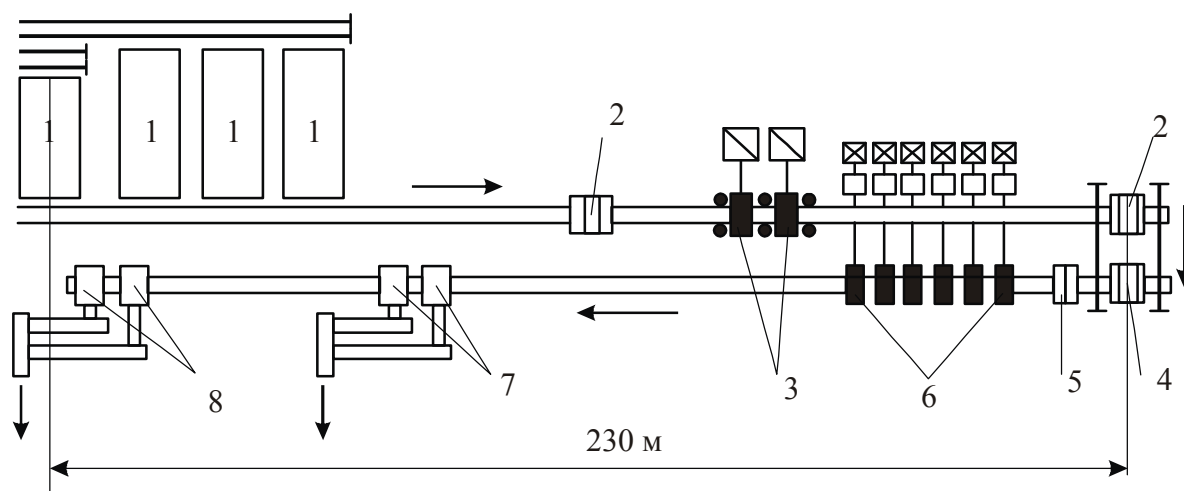


Рис 4.6. Схема зворотньо-напівбезперервного широкоштабового стану:

1 – нагрівальні печі; 2 – промінні перемотувальні пристрої; 3 – універсальні чорнові реверсивні кліти кварто; 4 – розмотувач; 5 – летючі ножиці; 6 – кліти кварто чистової групи; 7,8 – відповідно ближні і далекі моталки.

Із рис. 4.6 видно, що 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 напвбезперервних 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 кліті 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.

#### **4.5 Особливості транзитної прокатки штаб на БШС**

Технологічні особливості транзитної прокатки гарячекатаних штаб розглянемо на прикладі комплексу гарячої прокатки ВАТ «Запоріжсталь», який складається із обтискного стана слябінг 1150 і безперервного широкоштабового стана 1680.

Транзитна прокатка виконується в потоці за схемою зливок з рідкою серцевиною → прокатка сляба подвійної довжини → прокатка штаби з рулону до 15т. Зливки мало вуглецевих сталей з рідкою серцевиною завантажуються в гарячі камери нагрівальних колодязів, які спочатку не опалюються, тобто йде вирівнювання температури злиwkів по поперечному перерізу за рахунок кристалізації їх серцевини. Камери опалюють вповодж 1,0 – 1,5 год. перед подачею злиwkів на стан. Температура кінця прокатки слябів має бути не меншою 1100 °С. після видалення головної і донної частини розкату в обрізь сляб-зливок подається напряму по рольгангу на БШС 1680, схема розташування обладнання якого ілюструється рис. 4.7.

За транзитної прокатки відпадає необхідність використання нагрівальних печей. Печі включають в роботу 1 – 2 рази на місяць для нагріву і прокатки слябів, не прокатаних транзитом. В чорновій групі сляби подвійної довжини і

розкати з них прокатують в режимі безперервної прокатки, дотримуючись умов постійності секундних об'ємів металу, а саме:

$$V_{\partial}F_{\partial} = V_1F_1 = V_2F_2 = V_3F_3 = V_4F_4 = const \quad (4.1)$$

де  $V$  – швидкість металу на виході з валків

$F$  – площа поперечного перерізу на виході із валків

$D$  – дуо (окаиноламач)

1,2,3,4 – номери клітей чорнової групи

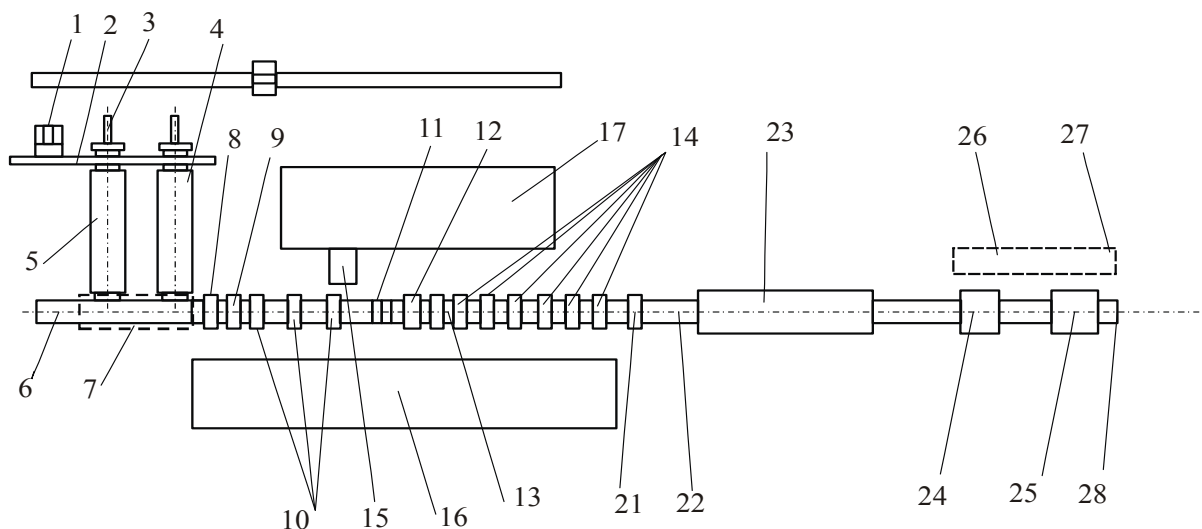


Рис. 4.7. Схема розташування устаткування ШСГП 1680:

1 – завантажувальний стіл для слябів; 2 – завантажувальний рольганг;  
 3,4 – нагрівальні печі; 5 – штовхачі слябів; 6 – транзитний рольганг від слябінгу; 7 – теплові екрани; 8 – двоохвалковий окаиноламач; 9 – перша чорнова клітка кварто; 10 – чорнові клітки з вертикальними валками; 11 – ППУ;  
 12 – летючі ножиці; 13 – чистовий окаиноламач; 14 – шість кліток кварто чистової групи; 15 – індукційна установка для підігріву робочих валків перед установкою в клітку; 16 – машинний зал; 17 – вальцешлифовальна майстерня; 18 – рельсовий шлях від слябінгу; 19 – візок; 20 – ділянка верстатів для зачистки поверхонь слябів з якісних марок сталей; 21 – вимірник розмірів штаби;  
 22 – відвідний рольганг; 23 – душируюча установка; 24, 25 – моталки;  
 26 – конвеєр прибирання рулонів; 27,28 – конвеєри рулонів; 29 – ділянка оброблення рулонів.



Зазначимо, що за транзитної прокатки окалиноламах, а саме кліть дуо з горизонтальними валками, використовується для деформації металу з обтиском в середньому 15 %. На виході із четвертої кліть розкат змотується в рулон на проміжному змотувально-розмотувальному устрої (ПЗРУ), що дозволяє акумулювати тепло в рулоні.

ПЗРУ (“Coilbox”) запатентовано канадською фірмою “Stelco”. Змотування-розмотування виконується за допомогою спеціального перемотувального устрою, схема якого наведена на рис. 4.8.

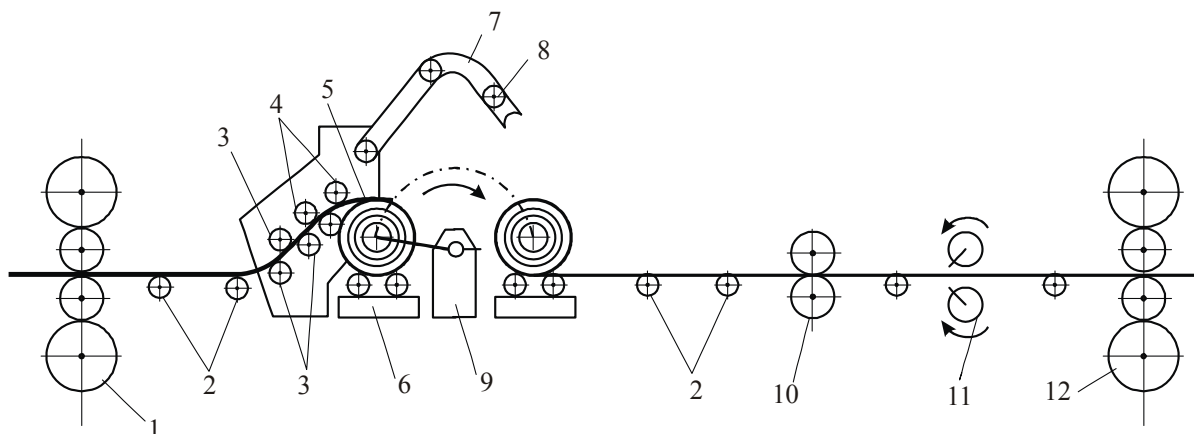


Рис. 4.8. Схема перемотувача під час прокатки по способу “Coilbox”:

1 – остання чорнова кліть; 2 – рольганг; 3 – спрямовуючі ролики; 4 – згинальні ролики; 5 – рулон; 6- люлька; 7 – відгинач кінця розкату; 8 – оправка; 9 – передаточний механізм; 10 – ролики подачі; 11 – ротаційні ножиці; 12 – перша чистова кліть.

Окрім акумуляції тепла в рулоні цей спосіб прокатки має ще ряд переваг:

- Майже повністю вирівнюється температурний клин по довжині розкату, а більш холодний задній кінець задається в чистову групу стана в якості переднього кінця і практично ліквідується потовщення заднього кінця штаби, яке має місце в процесі прокатки без койл-бокса;
- При зупинках стана проміжний розкат, змотаний в рулон не підслужується на проміжному рольгангові, що значно зменшує кількість недокатів;
- Значно зменшується довжина проміжного рольгангу.

Недоліком процесу прокатки з використанням койл-бокса є деяке зменшення продуктивності прокатного стану. Але підвищення стабільності температурного поля процесу прокатки і можливість не проводити прискорення стану для навілювання впливу температурного клину на товщину штаб дозволяє по даним ПАТ «Запоріжсталь» зменшити відхилення по товщині в 2 – 2,5 рази. Цим пояснюється факт, що на БШСГП, працюючих в світі, застосовують декілька десятків устроїв “Coilbox”.

На сучасних БШС ГП крім койл-бокса на випадок непередбачуваних затримок в роботі стану установлюється піч, що підігріває метал. Сучасні устрої “Coilbox” можуть змотувати і розмотувати розкати ширинами 510 – 1930 мм зі швидкістю до 5,1 м/с при масі рулонів 4,5 – 31т. Режими обтисків в чистовій групі клітей наступний:

- Максимальний обтиск в першій (п'ятій) кліті, мінімальний у випускаючій останній кліті;
- У двох проміжних клітях обтиски обирають із умови рівномірного завантаження електродвигунів приводу валків. Всі чистові кліті кварто мають робочі валки, відлиті з чавуну ЛПХН (литі прокатні хромонікелеві) в водоохолоджувані металеві форми, які в результаті загартування мають поверхневий шар бочок із відбіленого чавуну твердістю 70 – 75 HSD (по Шору). Діаметри бочок робочих валків 600 – 620 мм. Опорні валки відлиті із сталі 9ХФ. Твердість бочок нових опорних валків 40 HSD. Робочі валки чистових клітей приводяться електродвигунами потужністю 7000 кВт через силовий редуктор і шестеренну кліть. Максимальна робоча швидкість прокатки в останній кліті складає 9 м/с. Штаби регульовано охолоджуються ламінарним душуючим устроєм і змотуються в рулони. Товарні рулони охолоджуються на складі і за необхідністю піддають порізу на листи, термообробці, правці та іншим фінішно-закінчувальним операціям. Частина рулонів передаються конвеєрами в ЦХП на подальшу холодну прокатку.

#### **4.6 Проектування деформаційних параметрів гарячої прокатки штаб**

До регламентованих параметрів гарячої прокатки штаб відносять обтискні температури метала, швидкості прокатки, величини натягу метала і силові та енергетичні навантаження на обладнання і електроприводи прокатних клітей.

Режим обтисків і принципи його розробки визначаються типом прокатного стана для гарячої прокатки штаб. Найбільш поширені безперервні і напівбезперервні широкоштабові стани в складі чистової і чорнової груп. Для прокатки штаб із спеціальних легованих сталей, наприклад електротехнічних і нержавіючих, використовують двоклітьові (рідко – одноклітьові) стани з моталками в печах. Планетарні стани знаходять використання як кліть, що пов'язують МБРЗ і прокатних безперервний стан із групи чистових клітей. Такі стани використовують в якості окремих технологічних агрегатів для інтенсивної деформації легованих сталей з вузьким температурним коридором пластичності. Але в масовому виробництві гарячекатаних листів і підкату для цехів холодної прокатки найчастіше використовують і проектують с цією ж метою безперервні широкоштабові стани гарячої прокатки (БШШС ГП). Проектування режимів деформації для штаб регламентованого сортаменту полягає в розв'язанні декількох взаємопов'язаних задач, основні із яких є:

- Розподіл сортамента стана на групи по товщині і ширині штаб;
- Вибір оптимальних розмірів слябів для кожної з сортаментної групи;
- Розподіл обтисків поміж чорнової і чистової групи;
- Розподіл обтисків поміж клітей стану;
- Визначення режимів швидкостей прокатки;
- Призначення температур початку і кінця прокатки та розрахунок температурних параметрів по групам клітей і по кожній кліті стана;
- Визначення режимів прискореного охолодження штаб (душування), тобто температур змотування штаб різного сортаменту і хімскладу.

В гарячому стані на БШШС прокатують штаби товщинами 1 – 19 мм, ширинами 100 – 2350 мм, з використанням заготівля – слябів розмірами 100-300x1500-2300x2500-19000 мм. Причому для прокатки штаб більшої товщини використовують сляби більш товсті і навпаки для тонких штаб обирають мінімальної товщини.

Раціональна товщина слябів обертається не тільки в залежності від кінцевої товщини штаби але також з урахуванням обтискної можливості клітей стана і способу виробництва слябів. За використання слябів, прокатаних на обтискних станах, їх ширина заготівлі є недостатньою для отримання широких штаб. В цьому випадку виникає необхідність установки в чорновій групі потужної універсальної кліті, в якій за один поперечний пропуск необхідно надати розкату необхідну ширину.

Із умови постійності об'єму металу необхідний обтиск дорівнює:

$$\Delta h_{pm} = h_0(b_1 - b_0)/b_1 \quad (4.2.)$$

Формула 4.2 отримується з умови  $\Delta b_{pm} = 0$ , тобто відсутності розширення в поперечному проході.

Довжина слябів має відповідати ширині робочого простору нагрівальних печей. При транзитній прокатці як катаних, так і литих слябів навіть з підігрівом в прохідній печі довжина слябів обмежується максимальною масою штаби, згорнутою в рулон, тобто робочою вантажопідйомністю моталок. Як правило маса рулонів на сучасних станах не перевищує 45 – 50 т.

Спочатку сляби деформують в чорновому окалиноламачі. В вертикальному окалиноламачі окрім руйнації шару окалини калібрується ширина слябів, обтиски по ширині складають 80 – 100 мм. В горизонтальному окалиноламачі обтиск по товщині не перевищує 30 мм для слябів, нагрітих в печах, тобто покритих шаром пічової окалини. За технологією транзитної прокатки за відсутності на слябах шару пічової окалини.

В таблиці 4.5 наведені табличні дані щодо розподілу обтисків по клітям станів старішого покоління 1700 і сучасних станів 2000 і 2300.

Експлуатація БШШС показує, що найскладніше в технологічно-енергетичному аспекті прокатувати тонкі штаби. Досягнення технологічної сталості, як показує практика, можливо при правильному виборі співвідношень товщин сляба  $h_{сл}$ , розкату після чорної групи  $h_{чр}$  і товщини штаби  $h_{шт}$ , тобто:

$$h_{сл}/h_{чр}/h_{шт} \quad (4.3)$$

Таблиця 4.5. Режими обтисків слябів на тонкоштабову гарячекатану сталь на БШШС.

Стани 1700				Стани 2000 і 2300			
Група клітей	№ кліті	Обтиски		Група клітей	№ кліті	Обтиски	
		$\Delta h$ , мм	Е, %			$\Delta h$ , мм	Е, %
Чорнова	1	30...50	20...35	Чорнова	1	50...70	20...35
	2	20...35	25...40		2	45...60	25...35
	3	10...20	35...40		3	40...55	30...45
	4	10...15	30...45		4	30...45	35...45
	5	7...10	25...45		5	15...20	30...45
Чистова	1	<u>8...12*</u>	<u>45...50*</u>	Чистова	1	<u>14...18*</u>	<u>45...60*</u>
		6...8**	25...35**			<u>12...13**</u>	<u>30...35**</u>
	2	<u>3,5...4,5</u>	<u>30...35</u>	2	2	<u>5...10</u>	<u>45...55</u>
		<u>5...6</u>	<u>25...30</u>			<u>10...13</u>	<u>40...45</u>
	3	<u>2...3</u>	<u>25...35</u>	3	3	<u>1,5...2,5</u>	<u>25...35</u>
		<u>3,0...3,5</u>	<u>25...30</u>			<u>3...4</u>	<u>20...30</u>
4	<u>1,5...2,0</u>	<u>24...33</u>	4	4	<u>1,0...2,0</u>	<u>25...30</u>	
	<u>1,5...2,0</u>	15...25			<u>2,0...3,0</u>	<u>20...25</u>	
5	<u>0,7...1,2</u>	<u>20...30</u>	5	5	<u>0,5...1,5</u>	<u>20...25</u>	
	<u>1,0...1,5</u>	10...20			<u>1,0...1,5</u>	<u>10...20</u>	
6	<u>0,3...0,7</u>	<u>10...13</u>	6	6	<u>0,4...0,8</u>	<u>15...25</u>	
	0,6...0,8	<u>8...15</u>			<u>0,8...1,2</u>	<u>10...15</u>	

			7	$\frac{0,2...0,3}{0,4...0,8}$	$\frac{10...15}{8...2}$
--	--	--	---	-------------------------------	-------------------------

\*- в чисельнику наведені обтиски підчас прокатування штаб товщиною  $h < 4$  мм,

\*\* - в знаменнику наведені обтиски підчас прокатування штаб товщиною  $h \geq 4$  мм.

Оптимальні співвідношення товщин сляба, розкату і найточніше штаб наведені в табл. 4.6

Користуючись табл. 4.6, визначимо пайку(частку) чорної та чистої груп клітей в загальному обтиску:

$$\Delta h_{\text{ст}} = 305 \text{ мм}; h_{\text{ш}} = 2,0 \text{ мм};$$

$$\Delta h = h_{\text{ст}} - h_{\text{ш}} = 305 - 2 = 303 \text{ мм};$$

$$\Delta h = \Delta h_{\text{чр}} + \Delta h_{\text{чс}} = 267 + 36 = 303 \text{ мм}.$$

Таблиця 4.6. Максимально допустимі товщини слябів, розкатів і обтисків для тонких штаб, прийняті практиці для БШШС

Чорнові група із 5-ти клітей				Чистова група					
				Із 6-ти клітей			Із 7-ми клітей		
$\Delta h_{\text{ст max}}$ , мм	$\Delta h_{\text{чр}}$ , мм	$\Delta h_{\text{чс}}$ , мм	$\varepsilon$ , % $\Sigma_{\text{чр}}$	$h_{\text{ш}}$ , мм	$\Delta h$ , мм	$\varepsilon$ , %	$h_{\text{ш}}$ , мм	$\Delta h$ , мм	$\varepsilon$ , % $\Sigma_{\text{мс}}$
305	38	267	87,5	—	—	—	2	36	94,7
255	32	223	87,5	—	—	—	1,3	30,7	95,9
205	25	180	87,8	1,7...2,7	23,3...22,3	93,2...89,2	1,0	24	96,0

Таким чином:

$$\varepsilon_{\text{чр (часткова)}} = 267/303 = 88,1\%;$$

$$\varepsilon_{\text{чс (часткова)}} = 36/303 = 11,9\%.$$

Ці розрахунки показують, що при прокатуванні штаб мінімальної товщини частка чорної групи в загальному обтиску сягає  $\sim 90\%$ , чистої еклітей в загальному обтиску зменшується до  $\sim 90\%$ , а чистої - збільшується до 30%.

Приклад:

Розрахувати режим деформації для прокатки штаби 2,0 × 1500 мм із СтЗпс.

Якщо нами раніше обрано БШШС 1700, то відповідно табл. 4.5 маємо для цього стану:

$$\begin{aligned}\sum \Delta h_{\max \text{ чр}} &= \Delta h_{\max 1} + \Delta h_{\max 2} + \Delta h_{\max 3} + \Delta h_{\max 4} + \Delta h_{\max 5} \\ &= 45 + 35 + 20 + 15 + 10 = 125 \text{ мм};\end{aligned}$$

В чистовій групі при прокатуванні штаб  $h < 4$  мм:

$$\begin{aligned}\sum \Delta h_{\max \text{ чс}} &= \Delta h_{\max 1} + \Delta h_{\max 2} + \Delta h_{\max 3} + \Delta h_{\max 4} + \Delta h_{\max 5} \\ &= 12 + 4,5 + 3 + 1,2 + 0,4 = 23,1 \text{ мм};\end{aligned}$$

Приймаємо максимальний сумарний обтиск в чорновій групі 125 мм, в чистовій 23 мм, тоді товщина слябу:

$$h_{\text{сл}} = h_{\text{шт}} + \sum \Delta h_{\max \text{ чр}} + \sum \Delta h_{\max \text{ чс}} = 2,0 + 125 + 23 = 150 \text{ мм}.$$

Сумарний обтиск на стані  $\Delta h$  :

$$\Delta h = h_{\text{сл}} - h_{\text{шт}} = 150 - 2 = 148 \text{ мм};$$

Відповідно табл. 4.6 приймаємо частку чорнової групи в загальному обтиску рівній 0,88, тобто абсолютний обтиск в чорновій групі складає:

$$\Delta h = 0,88 \times \Delta h = 0,88 \times 148 = 130,2 \text{ мм};$$

і відповідно в чистовій:

$$\Delta h = 0,12 \times \Delta h = 0,12 \times 148 = 17,8 \text{ мм};$$

остаточно приймаємо:

$$c = 2 \text{ мм}; h_{\text{сл}} = 150 \text{ мм}; \Delta h = 130 \text{ мм}; \Delta h = 18 \text{ мм}; \Delta h = 148 \text{ мм};$$

$$h_{\text{розкату}} = 2 + 18 = 20,0 \text{ мм}.$$

Користуючись табл. 4.5 і 4.6 розподіляємо сумарні обтиски поміж клітями чорнової ті чистової групи БШШС 1700. Заносимо отримані результати до табл. 4.7.

Таблиця 4.7. Розподіл обтисків поміж клітями чорнової групи.

№ Кліті	1	2	3	4	5

$h_0, \text{мм}$	150,0	105,0	65,0	40,0	27,0
$h_1, \text{мм}$	105,0	65,0	40,0	27,0	20,0
$\Delta h, \text{мм}$	45,0	40,0	25,0	13,0	7,0
$\varepsilon, \%$	23,3	38,1	38,5	32,5	26,0
$[\varepsilon]$ із т.4.10	35,0	40,0	40,0	45,0	45,0

Перевірка табл. 4.7 за двома умовами:

$$\Delta h = \Delta h_1 + \Delta h_2 + \Delta h_3 + \Delta h_4 + \Delta h_5 = 45 + 40 + 25 + 13 + 7 = 130 \text{мм};$$

$$h_{\text{ровнату}} = h_{\text{сл}} - \Delta h = 150 - 130 = 20 \text{мм}.$$

Користуючись табл. 4.6 розподіляємо обтиски поміж клітьми чистової групи.

Таблиця 4.8. Розподіл обтисків поміж чистовими клітьми

№ кліті	1	2	3	4	5	6
$h_0, \text{мм}$	20,0	10,0	6,5	4,2	2,8	2,2
$h_1, \text{мм}$	10,0	6,5	4,2	2,8	2,2	2,0
$\Delta h, \text{мм}$	10,0	3,5	2,3	1,4	0,6	0,2
$\varepsilon, \%$	50,0	35,1	35,0	33,0	21,4	9,1
$[\varepsilon]$ із т.5.17	50,0	35,0	35,0	33,0	30,0	13,0

Перевірка табл. 4.8

$$\Delta h = \Delta h_1 + \Delta h_2 + \Delta h_3 + \Delta h_4 + \Delta h_5 + \Delta h_6$$

$$h_{\text{сл}} = h_{\text{ровнату}} - \Delta h = 20,0 - 18,0 = 2,0 \text{мм}.$$

Із табл. 4.7 і 4.8 видно, що при прокатуванні в чорнових клітьх  $\varepsilon < [\varepsilon]$ , а в чистових клітьх 1, 2, 3 і 4  $\varepsilon = [\varepsilon]$ , тобто розподіл обтисків відповідає вимогам практичних даних табл. 4.5 і 4.6. Далі перевіряють режим обтисків на відповідність умові захоплення металу валками за виразом (4.3) і за необхідності корчують валки обтисків, перерозподіляючи їх поміж клітьми в нахилах, наведених в табл. 4.6 в процесі прокатки поперечні обтиски в кожній



парі вертикальних валків в чорновій групі не перевищують 20 - 25 мм ( $\varepsilon = 1-3\%$ ).

Швидкості прокатки в клітках чистових груп жорстко регламентуються за умовою постійності секундних об'ємів металу, яку використовують у вигляді: оскільки ширина штаби не змінюється:

$$h_1 V_1 = h_2 V_2 = \dots = h_7 V_7 \quad (4.4)$$

Якщо швидкість і товщина штаби в останній 7-ій клітці задані, то швидкості в інших клітках визначаються із (4.4)

$$V_1 = \frac{h_7}{h_1} V_7; \quad V_2 = \frac{h_7}{h_2} V_7; \quad (4.5)$$

Для синхронізації швидкості прокатки і настраювання чистової групи умова постійності секундних об'ємів металу (4.4) використовується з уточненням:

$$h_1 V_1 (1 + S_1) = h_2 V_2 (1 + S_2) = \dots = h_7 V_7 (1 + S_7) \quad (4.6)$$

Випередження в кожній  $i$ -ій клітці  $S_i$  визначають за відомою із теорії прокатки формулою Дрездена:

$$S_i = \gamma_i^2 (R_{pi} / h_i) \quad (4.7)$$

Нейтральний кут визначають по формулі В.Н. Видріла:

$$\gamma_i = \frac{\alpha_2}{2} \left( 1 - \frac{\alpha_1}{2f_{yi}} \right) + \frac{h_i (\sigma_{1i} - \sigma_{0i})}{4f_{yi} p_{опi} R_{pi}} \quad (4.8)$$

де  $\alpha_1$ - кут захвата металу валками;

$f_{yi}$ - коефіцієнт тертя в усталеній стадії прокатки;

$\sigma_1$  і  $\sigma_0$ - відповідно напруження переднього і заднього натягу металу;

$h_i$ - товщина штаби на виході із  $i$ -ї клітки;

$p_{оп}$ - середній нормальний контактний тиск;

$R_p$ - радіус робочих валків.

Практично випередження змінюється в першій до останньої клітці чистової групи в межах 0,1 - 0,01, тобто воно зменшується зі зменшенням абсолютних обтисків.

У всіх клітках чистової групи за винятком першої і останньої прокатка виконується з переднім і заднім натягом метала, що стабілізує поперечну усталеність штаби і в деякій мірі зменшує силу, момент і потужність прокатки. Мінімальне напруження (питомий натяг)  $\rho_{\min}$  визначають за величиною границі текучості метала  $\sigma_T$  за фактичної температури прокатки, тобто:

$$\rho_{\min} = (0,05 - 0,15)\sigma_T \quad (4.9)$$

#### 4.7 Режими швидкостей прокатки

В процесі прокатки штаби режими швидкостей можуть бути постійними або змінними, основні варіанти режимів змінювання швидкостей по довжині штаби наведені на рис. 4.9.

Варіант «а» відповідає режиму прокатки штаби з постійною швидкістю на відносно старіших станах 1700, на яких максимальні швидкості прокатки не перевищують 10 - 12 м/с. Стани і режими прокатки з постійною швидкістю більше не проектують.

Варіант «в» і «с» проектують до нових і застосовують на діючих більшу нових порівняно зі станами 1700, станах 2000 і 2300.

Вибір того або іншого варіанту «в», «с» або їм подібного регулювання швидкості по довжині штаби залежить від конструкції стана, розміру і хімічного складу прокатуваних штаб.

Варіант «в» раціональний для відносно коротких штаб, коли заправлення передніх кінців виконується на відносно невисокій швидкості  $V_0$ , чистова група гальмується ще до закінчення прокатки  $V_2$  аж до величини  $V_3$ .

Різновиди варіанта «с» раціональні для прокатки відносно тонких довгих штаб. Крім того варіант «с» порівняно з «в» виконується зі значно більшим прискоренням. Режими «в» і «с» раціональні в двох аспектах:

— зменшуються динамічні ударні навантаження на моталки при заправленні передніх кінців і хвостами задніх кінців штаб;

— прискорення дає можливість зменшувати температурний клин по довжині штаб, тобто підвищити точність прокатки.

Зазначимо, що постійна швидкість прокатки є найбільш сприйнятою (варіант «а») при застосуванні технології “Coilbox”.

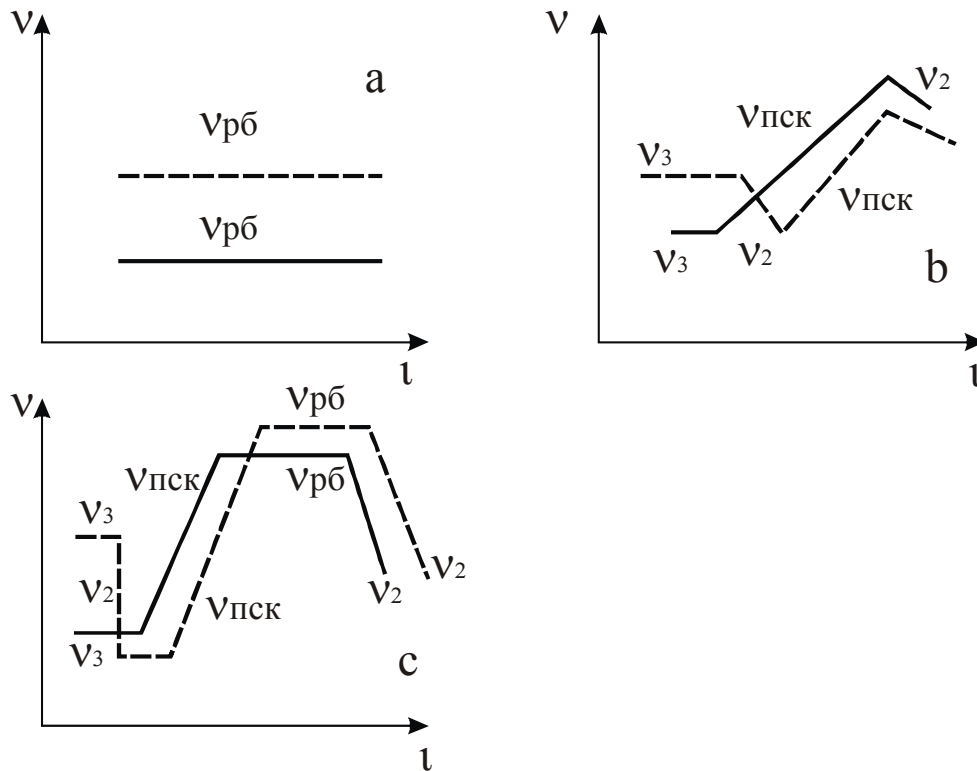


Рис 4.9 Основні варіанти регулювання швидкості прокатки  $V$  по довжині  $l$  в процесі прокатки  $V_{pb}$ - робоча,  $V_3$ - заправна,  $V_{psc}$ - з прискоренням,  $V_2$ - з гальмуванням: а- для станів 1700 з  $V_{pb} = const$ ; б і с - для сучасних станів відповідно для коротких і довгих штаб.

#### 4.8 Температурне поле прокатки на БШШС

Закономірності проектування температури початку і закінчення обробки металів тиском, включаючи процеси прокатки, розглянуті раніше в розділах 1,2.

В чорновій групі БШШС змінення температури металу відбувається аналогічно процесам прокатки на звичайних станах, є можливість визначити падіння температури за моделями для ТЛС. Більш точною для умов прокатки вуглецевих сталей є формула Г.П. Іванцова:

$$\Delta t = t + 273 = \frac{1000}{\sqrt{\left(\frac{1000}{100}\right)^2 + 0,022 \frac{t}{h_0}}} \quad (4.10)$$

де  $t$  – температура розкату в попередній кліті;

$\tau$  – час попереднього пропуску і паузи поміж клітями;

$h$  – товщина розкату поля попереднього проходу.

Для попереднього розрахунку температурних умов прокатки в клітях чистової групи використовують формулу (4.10).

Більш точні методи визначення температур в чистових групах БШШС, які враховують всі складові утрати тепла, а також приріст тепла в металі в результаті його деформації та дії сил контактного тертя в осередку деформації запропоновані в роботах П.І. Полухіна, Ю.Д. Железнова, С. Павельські та ін.

Згідно цих методів зміна температури металу безпосередньо в осередку деформації  $\Delta t_{од}$  складає:

$$\Delta t_{од} = \Delta t_{\phi} - \Delta t_{\kappa} \quad (4.11)$$

де  $\Delta t_{\phi}$  - зниження температури штаби за рахунок її фізичного контакту з валками внаслідок теплопередачі;

$\Delta t_{\kappa}$  - підвищення температури в результаті пластичної деформації .

Зниження температури  $\Delta t_{\phi}$  - визначається за формулою запропонованою Ю.Д.Железновим і Б.А.Цифриновичем, яка отримана за середнього випередження  $S = 0,05$ :

$$\Delta t_{\phi} = 1,88 * 10^{-2} * \frac{\sqrt{lgV}}{h_{i-1} + h} * (t - 60) \quad (4.12)$$

де  $t_0$  – температура штаби на вході в першу кліть чистової групи, С

$V$  – швидкість прокатки в  $i$ -ій кліті; м\с

$lg$  – довжина осередка деформації в  $i$ -ій кліті ; мм

$h_{i-1}$  та  $h_i$  – товщина розкату відповідно на вході і виході  $i$ -ої кліті.

Підвищення температури внаслідок пластичної деформації в осередку деформації дорівнює:

$$\Delta t_g = 0.42 * p_{cp} * Lg \frac{h_i - 1}{h_i} \quad (4.13)$$

де  $P_{cp}$  – середній контактний тиск у відповідній кліті, М

Охолодження металу в поміж клітьовому проміжку виникає в основному за рахунок випромінювання і значно менше шляхом конвекції та внаслідок стикання штаби с деталями проводнової арматури, що враховується формулою:

$$\Delta t_{mn} = K_{ст} * \frac{t_i^4}{h_i} * \tau_{mn} * 10^{-12} \quad (4.14)$$

де  $t_i$  – температура металу на виході із  $i$ -ої кліті;

$K_{ст}$  – коефіцієнт, що залежить від хімічного складу сталі:  $K_{ст} = 19.5$  і  $17.3$  відповідно для вуглецевих та легованих сталей;

$\tau_{mn}$  – час проходження поперечним перетином штаби проміжками поміж клітьями  $i-1$  та  $i$ :

$$\tau_{mn} = l_{mn} / V_i \quad (4.15)$$

де  $l_{mn}$  – довжина поміжклітьового проміжку за інтенсивного гідрозбивання окалини додатне пониження температури металу  $\Delta t_2$  і визначається за формулою:

$$\Delta t_2 = 500 / h_i V_i \quad (4.16)$$

Таким чином, температура розкату на вході в кліть  $i+1$  дорівнюватиме :

$$t_{0i+1} = t_{0i} + \Delta t_{g_i} - \Delta t_2 - \Delta t_{2i} - \Delta t_{mn} \quad (4.17)$$

Окрім аналітичних методів розрахунків проєктивних температурних режимів прокатки, що базуються на використаних законів теплопередачі, можуть бути використані статистичні моделі, отримані шляхом математичної обробки великих масивів експериментальних даних на діючих станах. Статистичні (регресивні) рівняння мають обмежену область використання: вони достовірні лише для тих умов, при яких виконувались вимірювання температур.

Наприклад, наведено рівняння регресії для декількох діючих станів:

- для стана 1700 Маріупольського металургійного комбінату (Україна):

$$t_k = 311 + 0,649 * t_{пк} - \frac{197 * 10^3}{h_{10} * V_{10}} + 1,78 * h_{п} \quad (4.18)$$

- для стана 1700 Карагандинського металургійного комбінату (Казахстан):

$$t_k = 640 + 0,345 * t_{пк} - \frac{268 * 10^3}{h_{12} * V_{12}} + 1,44 * h_{п} \quad (4.19)$$

- для стану 2000 Новолипецького металургійного комбінату (Росія):

$$t_k = 682 + 0,35 * t_{кп} - \frac{241 * 10^3}{h_{12} * V_{12}} \quad (4.20)$$

де в (4.17) – (4.20) :  $t_{пк}$  – температура закінчення прокатки, °С;

$t_{кп}$  – температура підкату на вході в чистову групу, °С

$h_{10}$ ;  $h_{12}$  – товщина штаби на виході із останньої кліті чистової групи відповідних станів, мм;

$V_{10}$ ;  $V_{12}$  – швидкість прокатки в останніх клітях станів, м/с.

За відомих температур підката на вході в чистову групу і кінця прокатки на виході із неї, температуру штаби, товщину  $h_p$  в чистовій групі можна доволі точно визначити за простою формулою:

$$t = t_{пк} - \frac{(t_{пк} - t_p) * h_{п}}{h_p - h_{п}} * \left( \frac{h_p}{h_p} - 1 \right) \quad (4.21)$$

де  $t$  – розрахункова температура розкату в чистову групу, °С;

$t_{пк}$ ;  $t_p$  - відповідні температури підкату на виході штаби із них, °С;

$h_{п}$ ,  $h_p$ ,  $h_{ш}$  - відповідно товщини підкату, розкату і кінцевої штаби, мм.

Навіть наближений аналіз формул (4.18) – (4.21) показує, що падіння температури штаби в процесі прокатки на БШШС визначається товщиною розкату, температурою початку і закінчення деформування металу і швидкістю прокатки. Товщина і температура нагріву металу, і закінчення прокатки регламентовані заздалегідь, перший параметр – режимом обтисків, другий та третій – стандартними вимогами щодо мікроструктури і механічних властивостей.

Таким чином, регулювання температурного режиму прокатки завбачається в проектних розробках технології прокатки, а саме можливості регулювання швидкості, тобто прокатки з прискореннями і гальмуваннями. Така технологія прокатки дозволяє вести прокатку з регульованим температурним режимом і стабільною температурою металу по всій довжині штаби.

Свого часу співробітниками МІСІС під керівництвом П.І. Полухіна були досліджені умови змін температур металу за різних швидкостей прокатки.

#### **4.9 Ливарно-прокатні технологічні лінії (ЛПТЛ)**

Безперервна розливка сталі в листопрокатному виробництві в основному використовується для отримання напівпродуктів – слябів. Типи машин безперервної розливки заготівель (МБРЗ), склад їх обладнання, компоновані схеми та технологій ний процес, розглянуті в розділі 2.

Останнім часом запропоновані і деякими фірмами введені в експлуатацію поточні ливарно-прокатні технологічні лінії для отримання в єдиному модулі із розплаву сталі штабової листопродукції. Перші агрегати безперервного розливу металу в рухомі кристалізатори були запропоновані, спроектовані, побудовані та введені в експлуатацію в кольоровій металургії. Це пояснюється тим, що температура плавлення кольорових металів та їх сплавів набагато нижча, ніж для сталі. Це в свою чергу, дозволяє набагато скоріше відтворити процес кристалізації. Схеми типових установок безперервного розливу металу в рухомі кристалізатори наведені на рис. 4.13.

Процеси зображені на схемах «а» і «в» в основному використовуються для виготовленні заготівлі, яка безпосередньо задається в прокатний стан. Цими способами виготовляють дроти і стрічки. Крім того, установки типів Проперці, Рігомонті, RSC застосовують для безпосереднього виготовлення стрічки із легкоплавких металів. Так канадська фірма «Сотіпко» використовує установки де кристалізатором є барабан, водо охолоджуваний із середини.

Товщина свинцевої стрічки, яку виробляють даним способом знаходиться в межах 0,25 - 1,25 мм. Установки безперервного лиття типу «в» застосовують у виробництві алюмінієвої фольги, стрічок і штаб із алюмінію та інших кольорових металів і їх сплавів.

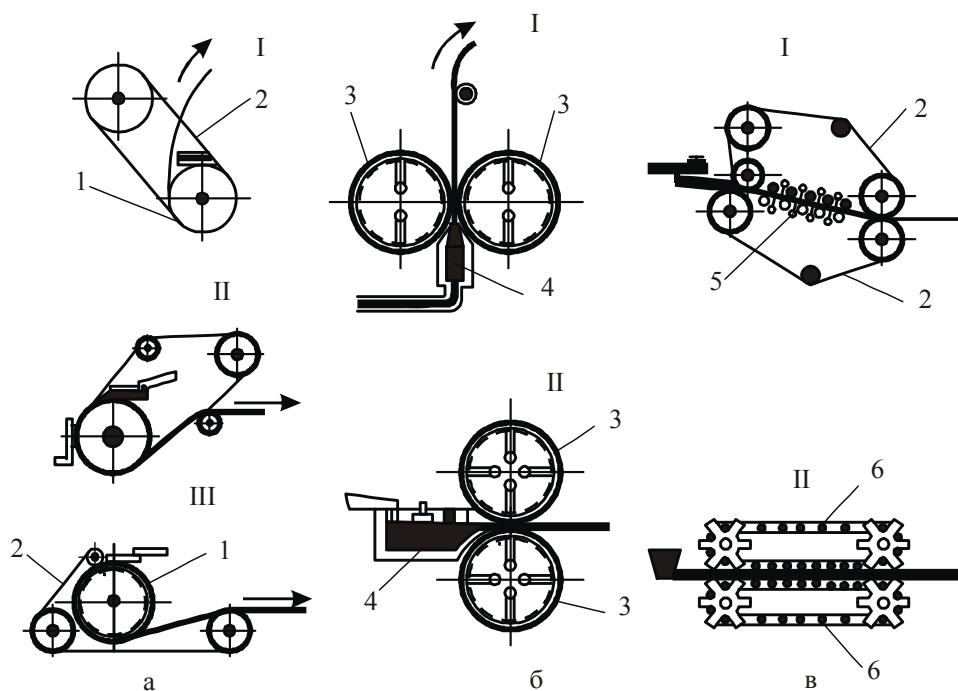


Рис.4.13 Типи установок безперервного розливу металу в рухомі кристалізатори: а) – роторні: I – Проперці; II – Рігомонті; III – RSC; б) – валкові: I – Хантер-інжинірінг; II – Лешіне; в) – стрічкові: I – Хазерлент; II – Хантер-Дуглас; 1 – жолобчатий обір; 2 – стрічка; 3 – порожнисті валки; 4 – роздільча коробка; 5 – пластинчастий ланцюг; 6 – роликовий ланцюг.

Із рис. 4.13 видно, що безперервні ливарно- прокатні лінії модулі в залежності від місце розташування осередку деформації можливо поділити на два типи:

1. Модулі з роздільним виконанням кристалізації і прокатки (схема «а» і «в» на рис.4.13)
2. Модулі, де кристалізація і деформація виконується одним і тим же інструментом. Це схема «б» на рис. 4.13, де кристалізатор і тиснучий



інструмент це порожисті валки, в подовжні отвори яких подається вода для охолодження.

В чорній металургії більше поширення поки що мають ливарно-прокатні модулі першого типу і серед них це МНЛЗ для виливання слябів (див. розд.2) і відокремленні від них прокатні сталі.

Суміщенні ливарно-прокатні модулі також набули розповсюдження в практиці металургійного виробництва. В таких ливарно-прокатних агрегатах в одній технологічній лінії (ТЛ) поєднані ЛМНЗ і прокатний стан. Одна із перших подібних ТЛ була побудована і запущена в експлуатацію фірмою «Ньюкор» (США).

Схема такої технологічної лінії представлена на рис. 4.14.

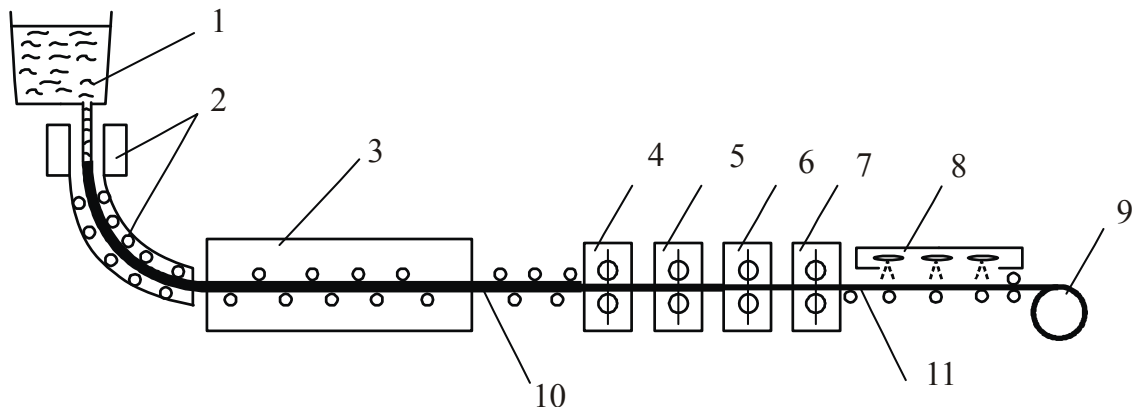


Рис.4.14 Схема об'єднаних агрегатів безперервної розливки та безперервної розливки та прокатки фірми «Ньюкор» (США): 1 - ковш з рідкою сталлю, 2 – машини безперервної розливки сталі, 3 – піч відпалу, 4..7 – прокатні кліти, 8 – відводючий рольганг з душуючим пристроєм, 9 – моталка штаби в рулон, 10 – швидкість заготовки - 0,23 м/с, товщина – 50мм, 11 – швидкість штаби – 4,6м/с, товщина – 2,5мм.

ТЛ фірми «Ньюкор» складається із однострумкової МНЛЗ з такими характеристиками:

- розміри литої заготовки 50\*100\*1350 мм
- швидкість розливки 2,5 - 6,0 м/хв;
- металургійна довжина 5800 мм.

В печі передбачено накопичувач литої відпаленої заготівлі довжиною 38 м, це разом з піччю складає 108 м.

Зазначимо, що з вдосконаленням ливарної і кристалізаційної частини ЛМНЗ потреба в печі відпала.

Прокатний стан складається із безперервної групи в складі чотирьох клітей з такими характеристиками:

- діаметри ( $D$ ) і довжини ( $L$ ) бочок робочих ( $p$ ) і опорних ( $o$ ) валків:

$$D_p * L_p = 780 * 1700 \text{ мм}; D_o * L_o = 1350 * 1500 \text{ мм};$$

- максимальна ширина полоси 1350 мм;

- максимальна маса рулонів 25 т;

- швидкість прокатки до 12 м/сек;

- потужність електродвигунів приводу валків кліті 7000 кВт.

Кліті обладнанні системами противовигину і осьового зсуву валків, САРТ і САРПФ.

В останні роки товщина литої проміжної штаби зменшена до 25\*30 мм.

Навіть в сучасних ЛПТЛ не вирішена задача синхронізації швидкостей неперервної розливки (3-6 м/хв) і швидкостей прокатки на сучасних широкоштабових станах.

В деякій мірі ця проблема вирішується використанням замість клітей кварто станів планетарної прокатки. Запатентовані декілька типів планетарних станів. Найбільш поширеними є стани конструкцій Круппа-Плацера і Сендзіміра, при чому останні простіші за конструкцією валкового вузла.

Фрагмент планетарної кліті Сендзіміра представлений на рис. 4.15.

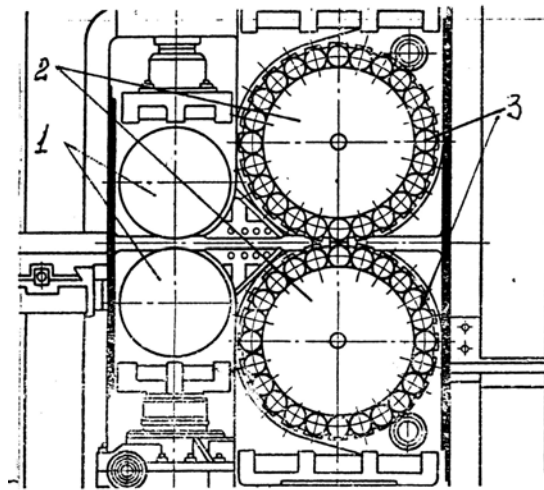


Рис. 4.15 Фрагмент планетарної кліті: 1- задаючи валки; 2 – опорні валки; 3- робочі валки.

Не зупиняючись на всіх особливостях планетарної прокатки лише зазначимо, що робочі валки фрикційно-приводні від опорних і обертаються проти ходу прокатки. Для виконання процесу деформації необхідна задана сила, яка утворюється задаючими валками. Кожен робочий валок контактуючи з металом обтискує його на невелику величину до 0,5 мм, але штаба, просуваючись через зону деформації, піддається багаторазовій дії робочих валків, завдяки чому сумарних обтиск досягає 95 - 98 %. Завдяки цій надзвичайно високій обтискній здатності планетарній стан замінює безперервний стан, при цьому обмежена швидкість неперервної розливки не стає на заводі прокатки тонких гарячокатаних штаб. Планетарна прокатка має ще одну перевагу порівняно з прокаткою на БШС. На останніх процес прокатки супроводжується безальтернативним зниженням температури металу. На планетарних станах, як результат над інтенсивної деформації температура металу на виході із кліті порівняно зі входом підвищується на 50 – 150<sup>0</sup>С. Це дозволяє знижувати температуру нагріву металу перед прокаткою і значно зменшити витрати металу на окальноутворення.

ТЛ лінія неперервна розливка + прокатка має компоновку аналогічну агрегату фірми «Ньюкор». Але порівняно з рис. 4.14 група клітей 4 - 7 закінчується однією планетарною кліттю. Після планетарної прокатки на

поверхні штаб залишаються невеликі попередні потовщення, які випрасовуються допоміжною вигладжувальною кліттю.

Технічні характеристики найбільш поширених планетарних станів Сендзініра слідує:

- діаметр приводних опорних валків 500 – 1500 мм,
- діаметр холостих (фрікційноприводних) робочих валків 50 – 200 мм;
- кількість робочих валків в обоймі ( на одному опорному валку 20 – 30;
- швидкість входу сляба 0,3 – 3,0 м/хв;
- розміри штаби на виході із валків 0,5 – 2,5 м/с.
- розміри штаб : товщина 1 – 6 мм, ширина 500 – 1800 мм.

ТЛ розливки і прокатки з планетарними клітями є перспективними для металургійних ліній заводів з електросталеплавильними печами на шихті 100% металобрухту + феросплави.

Ливарні прокатні модулі із суміщенням в одній установці кристалізації і прокатки (схема «б» на рис. 4.13) були запатентовані Г. Бессемором ще в 1865р. Але перші спроби реалізації цього способу розпочались більш ніж за 100 років. В наш час є поодинокі успішні технічні рішення по реалізації ідеї Г. Бессеморо.

Так в країнах Євросоюзу в напівпромисловій експлуатації знаходяться декілька ЛПМ (ливарно - прокатних модулів), які випробовують технології гарячекатані штаби товщиною  $\geq 1,5$  мм і шириною до 1800 мм із низьковуглецевих і нержавіючих сталей. Технічні характеристики одного із діючих ЛПМ «Castrip» за даними [22] є такими:

- діаметр валків – 500 мм ; довжина бочки – 2050 мм;
- швидкість розливання – 80 – 150 м/хв.;
- товщина і ширина штаба 2,0х 2000 мм.

Для стабільності процесу необхідно, щоби кристалізація закінчувалася до вертикальної осі валків. При цьому в цій же кліті забезпечується обтиск до 50 – 60%.

В кольоровій металургії ЛПМ застосовується виробництва штаб і листів із алюмінію та його сплавів.

### *Контрольні питання*

1. Охарактеризуйте технологічні лінії гарячої прокатки штаб.
2. Технологія прокатки штаб на БШС.
3. Особливості прокатки на напівбепрерервних широкоштабових станах.
4. Технологічні лінії гарячої прокатки високоміцних і спеціальних сталей.
5. Технологічні лінії гарячої прокатки високоміцних і спеціальних сталей.
6. Прокатування високоміцних і спеціальних сталей.
7. Режими швидкостей прокатки.
8. Температурне поле прокатки на БШШС.
9. Ливарно-прокатні технологічні лінії (ЛПТЛ).

## ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. **Середа, Б.П.** Металознавство та термічна обробка чорних та кольорових металів [Текст]: підручник / Б.П. Середа. – Запоріжжя: ЗДІА, 2008. – 302 с. Бібліогр.: с. 310. – 300 прим. ISBN 978-966-7101-96-1 (в пер.).
2. **Середа, Б.П.** Нові матеріали в металургії [Текст]: навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл. / Б.П. Середа. – Запоріжжя: ЗДІА, 2009. – 396 с. Бібліогр.: с. 310. – 300 прим. ISBN 978-966-7101-96-1 (в пер.).
3. **Калан, А.С.** Стандартизация качественной стали [Текст]: /Калан А.С.- М.: Металлургия, 1972 – 391 с. Бібліогр.: с. 330. – 1500 прим. ISBN 5-02-036325 (в пер.).
4. **Пикеринг, Ф.Б.** Физическое металловедение и разработка сталей. [Текст]: / Пикеринг Ф.Б. - М.: Металлургия, 1982 – 184 с. Бібліогр.: с. 183. – 500 прим. ISBN 5-02-031698 (в пер.).
5. **Пилюшенко, В.Л.** Структура и свойства автолистовой стали [Текст]: /Пилюшенко В.Л., Яценко А.И., Белянский А.Д. и др. - М.: Металлургия, 1996 – 176 с. Бібліогр.: с. 175. – 1500 прим. ISBN 5-02-071632-6 (в пер.).
6. **Середа, Б.П.** Прокатне виробництво [Текст]: навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл. / Б.П. Середа. – Запоріжжя: ЗДІА, 2008. – 312 с. Бібліогр.: с. 310. – 300 прим. ISBN 978-966-7101-96-1 (в пер.).
7. **Прищип, М.Г.** Механічна обробка та зварювання металів [Текст]: навчальний посібник для студентів спеціальності ОМТ /М.Г. Прищип – Запоріжжя: ЗДІА, 2003 – 124 с. Бібліогр.: с. 121. – 500 экз.
8. **Прищип, М.Г.** Технологічні лінії та комплекси металургійних цехів [Текст]: Конспект лекцій /Прищип М.Г. Таратута К.В. – Запоріжжя: ЗДІА, 2006 – 139 с. Бібліогр.: с. 139. – 50 экз.
9. **Полухин, П.И.** Прокатное производство [Текст]: Учебник /П.И. Полухин, Н.М. Федосов, А.А. Королев, Ю.М. Матвеев – М.; Металлургия, 1982 – 696 с. Бібліогр.: с. 689. – 12000 экз. ISBN 2704030000-129 (в пер.).

10. **Середа, Б.П.** Обработка металлов тиском [Текст]: навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл. / Б.П. Середа. – Запоріжжя: ЗДІА, 2009. – 343 с. Бібліогр.: с. 342. – 300 прим. ISBN 972-966-8462-11-5 (в пер.).
11. **Грудев, А.П.** Технология прокатного производства [Текст]: Учебник /А.П. Груднев, Л.Ф. Машкин, М.И.Ханин, - М.; Металлургия, 1994 - 656 с. Бібліогр.: с. 649. – 2500 экз. ISBN 5-229-00838-5 (в пер.).
12. **Прищип, Н.И.** Методические указания к выполнению курсовой работы по курсу [Текст]: «Прокатное производство с основами автоматизации» – Киев: МПП, 1983 – 42 с. Бібліогр.: с. 40. – 150 экз.
13. **Коновалов, Ю.В.** Справочник прокатника [Текст]: Кн.А. Производство горячекатаных листов и полос /Коновалов Ю.В. – М.; Теплотехник, 2008 – 640 с. Бібліогр.: с. 639. – 2500 экз. ISBN 5-7287-0088-8 (в пер.).
14. **Голованенко, С.А.** Сварка прокаткой биметаллов [Текст]: /Голованенко С.А. - М.; - Металлургия, 1977 – 158 с. Бібліогр.: с. 158. – 1200 экз. ISBN 5-02-031691-6 (в пер.).
15. **Целико, А.И.** Теория прокатки [Текст]: Справочник /Целиков А.И., Тонлеков А.Д., Третьяков А.В. и Никитина Г.С. М.; - Металлургия, 1982 – 335 с. Бібліогр.: с. 292. – 8000 экз. ISBN 5-02-031635-6 (в пер.).
16. **Іванченко, Ф.К.** Розрахунок машин і механізмів прокатних цехів: [навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл.] /Ф.К. Іванченко, В.Н. Гребенік, В.І. Ширяєв. – К.: Вища школа, 1995. – 454 с. Бібліогр.: с. 450 – 1500 экз. ISBN 5-02-031632-6.
17. **Королёв, А.А.** Конструкция и расчет машин и механизмов прокатных станов [Текст]: Учебное пособие для вузов - /Королев А.А. – М.; - Металлургия, 1985 – 376 с. Бібліогр.: с. 332 – 7650 экз. ISBN 5-02-031632-6.
18. **Воробей, С.А.** Основные направления повышения качества горячекатаного и холоднокатаного широкополочного проката [Текст]: /С.А. Воробей, Г.В. Левченко, А.Н. Пугноки и др. - Теория и практика металлургии, 2005 - № 4,5 – с. 44 – 49. Бібліогр.: с. 49 – 500 экз. ISBN 5-02-6.

19. **Щебаных, Э.Н.** Проект технологического перевооружения НШС 1700 ОАО «ММК им. Ильича» (Э.Н. Щебаных, А.В. Нурашкин, В.М. Павтиев, О.В. Клименко //Сучасні проблеми металургії. Наукові вісті, т.в. Пластична деформація металів. Дніпрпетровськ, 2005 – с. 255 – 258. Бібліогр.: с. 258 – 800 экз. ISBN 966-575-054-8.

20. **Флемминг, Г.** Агрегаты по производству горячекатаной полосы из тонкой непрерывно – литой заготовки // Черные металлы, 1988, №3 – с. 3 -13. Бібліогр.: с. 13 – 290 экз. ISBN 966-575-055-8.

21. **Янсан, Х.** Прогресс в развитии литейного прокатного агрегата компании Thisgen Kruqr Steel [Текст]: / ЯнсанХ., Совка Э.К. // Черные металлы, 2007, №6 – с. 45 -50. Бібліогр.: с. 50 – 120 экз. ISBN 966-575-055-8.

22. **Минаев, А.А.** Совмещенные металлургические процессы [Текст]: /Минаев А.А. – Донецк – Технопарк, Дон ГТУ, УНИТЕК, 2008, - 552 с. Бібліогр.: с. 551 – 500 экз. ISBN 978-966-525-984-8.