

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
КРИВОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ГІРНИЧО-МЕТАЛУРГІЙНИЙ ФАКУЛЬТЕТ

КАФЕДРА МЕТАЛУРГІЇ ЧОРНИХ МЕТАЛІВ І ЛИВАРНОГО ВИРОБНИЦТВА

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
до випускної атестаційної роботи бакалавра

зі спеціальності 136 – Металургія

«РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ
ТОВСТОЛИСТОВОЇ СТАЛІ, ЩО МАЄ ТОВЩИНУ 10 ММ, З
БЕЗПЕРЕРВНО-ЛИТОГО СЛЯБА»

Виконав:

Студент групи МТ 20-1

_____ Дмитро ХАЛІМОНОВ

Керівник кваліфікаційної роботи

_____ Вікторія ЧУБЕНКО

Нормоконтролер

_____ Вікторія ЧУБЕНКО

Завідувач кафедри

_____ Сергій САВЕЛЬСВ

Кривий Ріг
2024 р.

РЕФЕРАТ

до випускної кваліфікаційної роботи на тему: **Розробка технології виготовлення товстолистової сталі, що має товщину 10 мм, з безперервно-литого сляба**

Пояснювальна записка: с., табл., рис., джерел.

Об'єкт дослідження: прокатування листової сталі

Предмет дослідження: процеси гарячого прокатування товстолистової сталі.

Мета роботи: розробити удосконалену технологію прокатування товстолистової сталі, використовуючи сучасне обладнання.

Методи дослідження: теоретичний аналіз процесу прокатування товстих листів та роботи листопрокатного стану, розрахунок режимів обтиснень та швидкісних умов прокатування.

Результати роботи: виконано аналіз процесів листопрокатного виробництва, визначено склад та принцип роботи листопрокатного обладнання, способи та устаткування для отримання безперервно-литого слябу, виявлено режими обтиснення, які використовуються на листопрокатному стані для отримання листа, що має товщину 10 мм, швидкісні умови прокатування, визначено операції, що потрібні для отримання товстого листа, їх склад і кількість.

Ключові слова: гаряче прокатування, товстий лист; листопрокатний стан; циліндричні прокатні валки; режими обробки, витрати енергії, міцність.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	
РОЗДІЛ 1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА.....	
1.1 Призначення і класифікація листової сталі.....	
1.2 Обладнання для прокатування листів.....	
1.3 Способи отримання безперервно-литого слябу.....	
1.4 Обладнання для отримання безперервно-литого слябу.....	
1.5 Загальні технологічні операції з виготовлення товстих листів...	
1.6 Пропозиції з удосконалення технології отримання товстих листів..	
РОЗДІЛ 2 ІНОВАЦІЙНІ РОЗРОБКИ ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ ТОВСТОЛИСОВОЇ СТАЛІ, ЩО МАЄ ТОВЩИНУ 10 ММ, З БЕЗПЕРЕРВНО-ЛИТОГО СЛЯБА	
2.1 Визначення вихідного матеріалу для отримання листа товщиною 10 мм	
2.2 Схеми технологічного процесу виготовлення листа товщиною 10 мм на безперервному листопрокатному стані	
2.3 Визначення режимів обтиснення при гарячому прокатуванні листа, що має товщину 10 мм.....	
2.4 Швидкісні умови прокатування.....	
2.5 Температурний режим прокатування.....	
ВИСНОВКИ.....	
Літературні джерела.....	
Додатки.....	

ВСТУП

Листовий металопрокат широко застосовується в багатьох галузях народного господарства, це дуже затребувана металопродукція. Листовий матеріал широко користується попитом в будівництві при створенні мостів та перекриттів, при створенні корпусів деталей машин та механізмів, верстатів, затребуваний в машинобудівній промисловості в сільському господарстві, при створенні корпусів тракторів, будівельної техніки, в авіабудівництві, для створення корпусів побутової техніки, для виготовлення різних металоконструкцій. Листовий прокат використовується при виготовленні гнутих профілів, що дозволяє уникнути складних процесів з використанням складних калібрувань прокатних валків. Листовий матеріал використовується для отримання зварних труб, що також дає можливість спростити технологію і обладнання для їх виготовлення.

У зв'язку з цим постійно збільшується частка у виготовленні листової продукції. Щоб задовільнити потреби користувачів потрібно збільшувати продуктивність виробництва листопрокатної продукції.

Постійно підвищуються вимоги до якості листів, до точності їх розмірів, шорсткості поверхневого шару, хвилястості, планшетності, коробоватості поверхні продукції.

Такі параметри цілком залежать від точності роботи листопрокатного обладнання, від його продуктивності, зносостійкості, міцності та надійності. Також великий вплив на якість продукції має технологічний процес виготовлення листів, що уявляє собою визначену кількість та послідовність технологічних операцій.

Тому в роботі потрібно розробити удосконалену технологію виготовлення листів з безперервно-литого сляба з застосуванням сучасного листопрокатного обладнання з використанням раціональних режимів обтиснення, які дозволять

отримати лист, що має товщину 10 мм при мінімальних енергетичних витратах при високій продуктивності процесу та при мінімальній собівартості виробництва. Для цього потрібно визначити листопрокатне обладнання, що буде використовуватися з максимальною продуктивністю для гарячого прокатування листів, які мають товщину 10 мм, визначити величини обтиснення, що дозволяє здійснити це обладнання, виявити кількість проходів, що дозволяють отримати потрібну продукцію, розрахувати отримані розміри гарячекатаних листів за проходами, визначити схеми прокатування, потрібні зусилля на процес.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

1.1 Призначення і класифікація листової сталі

Листова металопродукція – це плоский матеріал, отриманий прокатуванням. Листовий прокат широко використовується в народному господарстві. Він дуже затребуваний через те, що його технічні та експлуатаційні властивості є універсальними. Сфера застосування листового прокату: авіа будівництво, суднобудування, з нього виготовляють корпуси автомобілів, застосовують у виробництві побутової техніки, використовують для виготовлення зварних металоконструкцій, створюють мангали, сейфи, виготовляють зварні труби тощо.

Для виготовлення гарячекатаних листів використовують сталь вуглецеву звичайної якості; сталь вуглецеву якісну та підвищеної якості, сталь вуглецеву

та низьколеговану спеціального призначення; сталь вуглецеву та низьколеговану конструкційну; спеціальні сплави такі, як електротехнічні, жароміцну, жаростійку, корозійностійку для корпусних виробів, що працюють в агресивних середовищах.

Листовий прокат класифікують за декількома ознаками:

Види листового прокату:

- холоднокатаний лист;
- гарячекатаний лист;
- рифлений лист;
- неіржавіючий лист;
- холоднокатаний оцинкований лист;
- сталь в рулонах.

Товстолистовий прокат має товщину понад 4 мм, тонколистовий – менше 4 мм.

За якістю листовий прокат оцінюється за точністю розмірів, плоскістю, за характером кромки.

За точністю розмірів установлюється величина граничних відхилень, де визначається величина граничних відхилень отриманого листа від номінальних розмірів. Ця величина залежить від товщини та ширини листа, а також від групи точності. Окрім граничних відхилень, до точності відносять допускаєма реброва кривизна, випуклістю бокових граней.

За групою точності лист може бути нормальної точності та підвищеної.

За плоскістю листовий прокат може бути особливо високої точності, високої, покращеної, нормальної.

За характером кромки листовий прокат може бути з необробленою та обробленою кромкою.

Для сталі, яка постачається у рулонах указують вимоги до серповиглядності, телескопичності рулону, внутрішньому діаметру

Як правило, товстий лист виготовляється в гарячому стані, тонкий в холодному. Листовий прокат, що має товщину 10 мм належить до товстолистого і виготовляється гарячим прокатуванням.

За призначенням листовий прокат, гарячого прокатування, поділяють на 4 групи:

- для виготовлення різних посудів і котлів, які працюють під тиском, для їх виготовлення використовується вуглецева або легована сталь марок 09Г2С, 10Г2С1 товщиною від 4 мм до 160 мм;

- для створення зварних корпусів у судобудівництві використовується сталь марок СтЗсп, СтЗпс, 09Г2;

- лист для мостобудівництва – сталь вуглецева мостобудівна, використовується для виготовлення клепаних і зварних мостів;

- для зварних труб, що працюють при низьких температурах, використовується сталь марки 09Г2СФБ.

За стандартом листовий прокат класифікують на два класи:

1 клас – листи, які мають гладку поверхню, мають дрібні подряпини, що не заходять в основу листа;

2 клас – листи, які на поверхні мають подряпини та різні дефекти, нерівне покриття поверхні, мають ділянки з різними відтінками.

Головні характеристики гарячекатаного листа – це доволі висока стійкість та велика в'язкість, добра здатність до зварювання та висока стійкість до утворення тріщини, мінімальні допуски на граничні відхилення розмірів, можливість нанесення покриття, повинні мати рівномірну внутрішню будову.

Взагалі листовий матеріал не складно обробляється, має високу стійкість до пошкоджень механічного характеру, до перепаду температур, зазвичай, має високу здатність до зварювання.

В роботі розроблено технологію гарячого прокатування листа (рис. 1.1), що має товщину 10 мм та ширину 1000 мм.

Для цього потрібно визначити обладнання, що буде використовуватися для отримання даного листа, розрахувати режими обтиснення, зусилля

прокатування, порівняти їх з допустимими. Визначити швидкісні умови прокатування та визначити температурні режими.

З рисунку 1.1 видно, що лист нагрівається до високої температури, яка відповідає температурі прокатування і транспортується по рольгангу до пункту призначення.



Рисунок 1.1 – Загальний вигляд гарячекатаного листа

1.2 Обладнання для прокатування товстих листів

Для прокатування товстих листів використовують товстолистові прокатні стани.

Прокатний стан – уявляє собою комплекс машин та механізмів, що забезпечують отримання продукцію заданої форми та розміру завдяки здатності металу до пластичної деформації.

У своєму складі прокатні стани мають основне та допоміжне обладнання.

До основного обладнання належать ті машини та механізми, що забезпечують пластичну деформацію оброблюємого матеріалу: робоча кліть,

шпиндель для приводу прокатних валків, шестеренна кліть, муфти, редуктор, двигун.

Робоча кліть у своєму складі має дві станини, валки з підшипниками, механізми, що забезпечують встановлення та фіксацію валків у вертикальній та горизонтальній площинах, має пристрою для змащування та охолодження валків, валкову арматуру.

Всі зусилля деформації при прокатуванні листів приймають прокатні валки, що знаходяться в робочих клітях прокатного стану (рис 1.2).

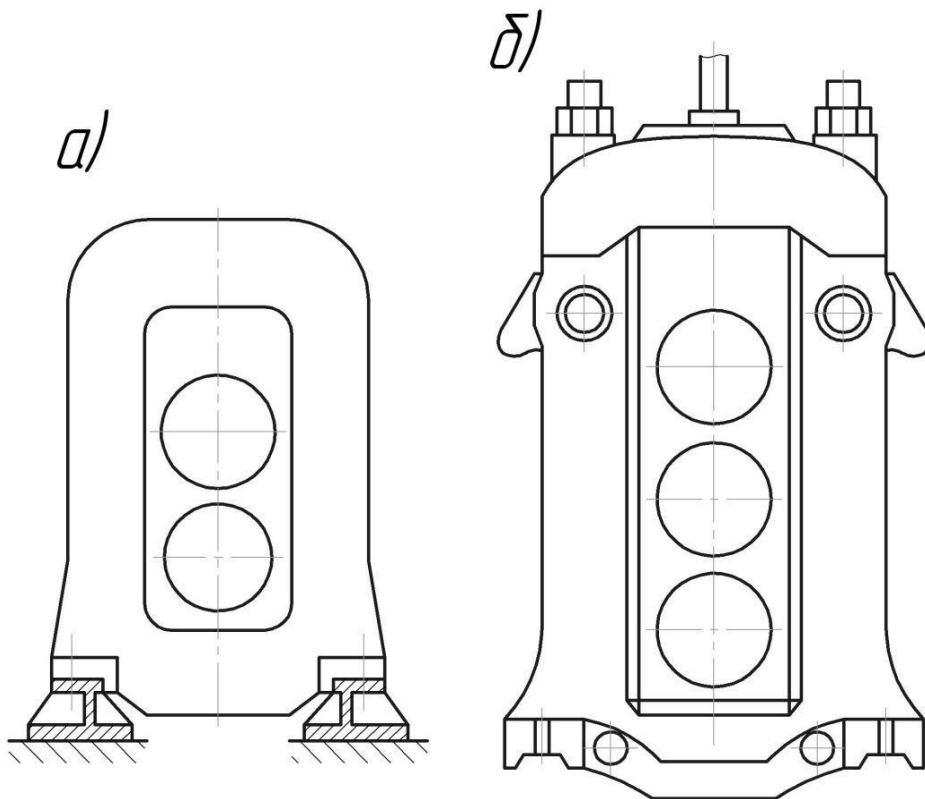


Рис. 1.2 – Робочі кліті прокатного стану: а) двовалкові; б) тривалкові

Основний деформуючий інструмент – це прокатні валки. Вони працюють у важких та жорстких умовах, при їх роботі відбувається великий тиск на них, різкі теплозміни, абразивне зношення тощо. Прокатні валки повинні бути висококоміцними, термо- і зносостійкими для виготовлення валків використовують чавун та сталь. Сталеві валки можуть бути литі та ковані. Сталеві валки доволі міцні, пластичні та зносостійкі. Їх застосовують у

прокатних клітях на які діють великі зусилля. Чавунні валки є менш міцними за сталеві тому, їх використовують у передчистовий та чистових прокатних клітях.

Сталеві валків виготовляють з вуглецевої, низьколегованої та легованої сталі марок: Сталь 50...55, сталь 50...60 ХН, 9ХФ тощо. Чавунні валки виготовляють з легованих та нелегованих чавунів марок: СШХН-60, ЛПХН-60 тощо. Позначення вказують на типи валків: букви С, Л позначають сортові і листові валки; букви Ш, П позначають, що використовується для виготовлення валків чавун з кулястим або пластинчастим графітом; Х, Н – леговані хромом і нікелем, відповідно; 60 – твердість, одиниць по Шору.

Прокатні валки встановлюють в підшипниках, що розміщують на шийках прокатних валків. Через ці підшипники передають зусилля прокатування від валків на станину. Підшипники підтримують прокатні валки у заданому положенні. Використовуються підшипники рідинного тертя, підшипники ковзання та кочення.

Підшипники встановлюють в подушках, які мають вигляд спеціальних сталевих зливків. Вони призначені для збереження точного положення прокатних валків та передачі зусилля прокатування від прокатних валків до станини робочої кліті. Підшипники здатні переміщуватися по напрямних, які надійно прикріплені до станини. Таке переміщення регулюється за допомогою планок та притиснень.

Для забезпечення визначеного положення прокатних валків під час прокатування використовують механізми верхнього та осьового установавання валків. Вони складаються з натискних механізмів та врівноважуючих.

Для переміщення прокатних валків з метою забезпечення визначеного зазору використовують натискні механізми, що переміщують прокатні валки у визначене положення.

На товстолистових, тонколистових та смугових чотиривалкових станах, що призначені як для гарячої, так і холодної прокатки використовують тихохідні натискні гвинти, через те, що швидкість переміщення прокатних

валків не велика. Вони можуть бути гідравлічні або комбіновані. У комбінованих механізмах відбувається грубе регулювання електромеханічним пристроєм, у гідравлічних – тонке регулювання.

При прокатуванні потрібне чітке урівноваження верхнього прокатного валка. Для цього використовують пружинні та гідравлічні врівноважуючі пристрої. Вони забезпечують переміщення верхнього валка на не велику висоту. Пружинні врівноважуючі пристрої використовують на тих листових станах, де маса деталей, що потрібно врівноважувати не велика.

На рисунку 1.3. наведено розташування валків та їх можлива кількість у робочій кліті, в залежності від типу прокатного стану.

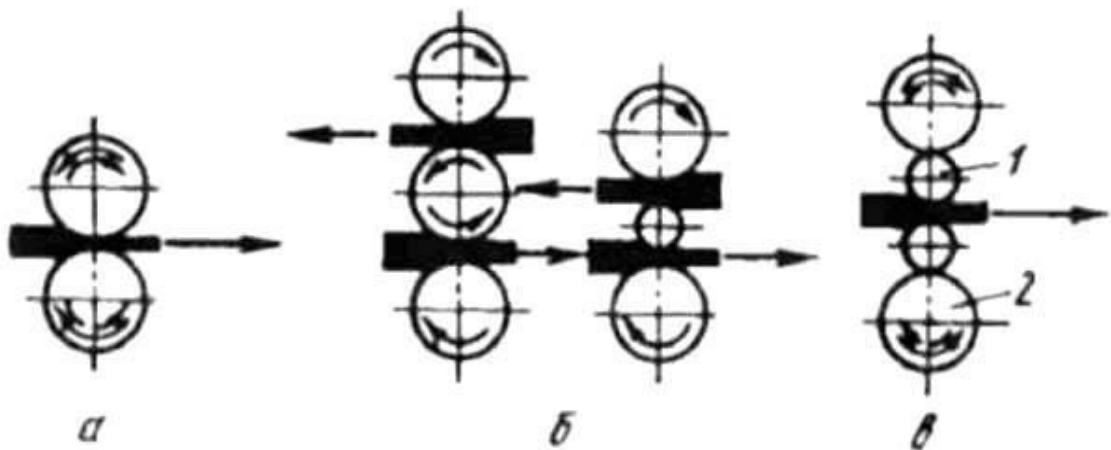


Рисунок 1.3 – Розташування валків в робочій кліті: а) двовалкова робоча кліть; б) тривалкова робоча кліть; в) чотиривалкова робоча кліть: 1 – робочі прокатні валки; 2 – опорні валки

Двовалкові робочі кліті (рис. 1.3 а) використовуються для гарячого прокатування товстих листів, які не потребують високої точності. При прокатуванні на таких прокатних станів не витримуються висока жорсткість. Тому не можливо забезпечити високу точність розмірів, низьку шорсткість поверхні, може утворитися різновтовщинність та коробоватість товстого листа.

Тривалкові кліті (рис.1.3 б) також не забезпечують високу жорсткість прокатної кліті і відбувається прокатування на них з невеликою швидкістю та продуктивністю обробки.

В сучасних прокатних станах використовують робочі кліті з чотирма прокатними валками (рис. 1.3 в), два з яких робочі, два опорні. Опорні валки підтримують робочі при обробці, чим забезпечують високу жорсткість прокатних валків та точність обробки, що дозволяє отримати якісні листи з точною та гладкої поверхнею, з мінімальними відхиленнями, з мінімальною шорсткістю, хвилястістю, коробоватістю. Такі робочі кліті дозволяють підвищити швидкість прокатування.

Допоміжне обладнання – це те обладнання, де не відбувається пластичної деформації металу, але воно необхідне для здійснення технологічного процесу. Усе допоміжне обладнання поділяється на транспортуюче та обробне.

Транспортуюче обладнання забезпечує переміщення металу впродовж та впоперек прокатного стану. Наприклад, до такого обладнання відносять мостові електричні крани, що служать для переміщення листів в рулонах, передавальні візки, обертальний шлеппер, транспортер обрізи, рольганги, ваги, холодильники, маніпулятори, кантувачі, підйомні механізми.

Для транспортування вихідного матеріалу до прокатного стану використовують рольганги, які також забезпечують подачу металу у прокатні валки, приймають розкати з валків, переміщують їх до ножиць, пилок, правильних машин та агрегатів. Рольганги мають значну довжину та їх маса досягає до 30 % від маси усього механічного обладнання прокатного цеху. За призначенням рольганги поділяються на робочі та транспортуючі. Робочі рольганги застосовують безпосередньо у робочій кліті та служать вони для точного спрямування обробляемого матеріалу у прокатні валки та приймання розкатів з прокатних валків. Усі інші рольганги служать для транспортування металу і мають назву транспортних.

Після прокатування отримані розкати піддають охолодження на холодильниках, які знаходяться між прокатним станом та агрегатом для

обробки прокату. На холодильнику приймається оброблений розкат, охолоджується до визначеної температури, після чого передається на відповідний рольганг і транспортується до обробних машин та агрегатів. Холодильники бувають двох типів: рейкові та роликові. Більш розповсюджені рейкові. Рейкові бувають одно- та двосторонні. На таких холодильниках охолодження смуг відбувається на зубчастих рухомих рейках, де виконується коливально-поступовий рух.

Для переміщення початкових матеріалів поперек цеху від рольгангу до рольгангу, до приймального рольгангу, до прибирального карману, або у сусідній проліт цеху використовують шлепери. Вони бувають канатні та ланцюгові. Канатний шлепер складається з 6 – 8 канатів. Ланцюгові шлепери використовують так само, як і канатні, але мають більшу теплостійкість, що важливо при переміщенні гарячого металу за канатні. Ланцюгові шлепери мають наступні недоліки: вони є нереверсивні і менш маневрені.

Маніпулятори забезпечують пересування металу по роликам рольганга та забезпечують вірне спрямування металу у прокатні валки.

Для повертання смуги на визначений кут використовують кантувачі.

Для піднімання та опускання вихідних матеріалів використовують підйомно-похитні столи.

До обробного обладнання відносять ножиці та правильне обладнання.

До обробного обладнання відносять ножиці поздовжнього та поперечного розрізання листа, дискові ножиці з кромко розширювачами, гільйотинні ножиці, ножиці вогневого зачищення, термічні печі, роликові зміцнюючі машини, обладнання для розмітки матеріалу, роликові охолоджувачі, клеймувальні та пакувальні пристрої.

Летючі ножиці використовують для обрізання переднього і заднього кінців товстого розкату, що спрямовується до чистової групи клітей. такі ножиці мають дві пари ножів: шевронні та прямі ножи. Шевронні ножи використовують для обрізання переднього кінця розкату з метою покращення захоплення смуги прокатними валками, що мають перші чистові кліті та

зменшення ударного навантаження на робочі валки. Прямі ножиці виконують відрізання заднього кінцю розкату. Максимальне зусилля різу складає 3 МН, швидкістю різу до 2 м/с.

До допоміжного обладнання відносять ролико-барабанні моталки. Після змотування рулони знімаються з моталок за допомогою візка знімача.

При безперервному прокатування товстих листів використовують машини вогневого зачищення. Вони забезпечують високу продуктивність та точність обробки. Швидкість зачищення на цих машинах досягає від 0,3 до 1 м/с. Але такі машини мають недолік: при суцільному зачищенні великі втрати матеріалу. Тому використовують не суцільне, а місцеве зачищення.

Для зачищення легованих сталей використовують фрезування або абразивне зачищення. Для цього потрібні механообробні верстати.

До правильного обладнання відносять роликові правильні машини, роликові вигинаючі машини, дефектоскоп.

Для отримання товстих листів гарячим прокатуванням використовують одно-, двоклітьові та багатоклітьові прокатні стани.

В якості одноклітьового листопрокатного стану використовують тривалковий стан гарячого прокатування, який має назву стан Лаута. Ці прокатні стани призначено для виготовлення листів від 4 до 25 мм. Але вони мають деякі недоліки до яких належать те, що на них неможливо зробити великі обтиснення за один прохід, що суттєво зменшує продуктивність обробки. Вони мають важкі підйомно – пихитні столи, що викликають складності в обслуговуванні, мають невелику жорсткість прокатних клітей, що не дозволяє отримати високу точність листів, викликає велику різнотовщинність. Тому ці прокатні стани не отримали велике розповсюдження.

Більш широке розповсюдження отримали одноклітьові чотиривалкові прокатні стани. Вони служать для отримання листів товщиною до 160 мм з матеріалу масою до 60 т.

Широко використовуються для прокатування товстолистової сталі двоклітьові прокатні стани з послідовним розташуванням прокатних клітей. перша прокатна кліть є чорною, друга прокатна кліть є чистою. Такі прокатні стани використовують для прокатування листів, що мають ширину до 4500 мм. Продуктивність таких прокатних станів більша за оноклітьові, виготовляють листи вони кращої якості за оноклітьові та збільшується термін служби прокатних валків. Двовалкові прокатні стани можуть давати обтиснення більші за одновалкові прокатні стани, забезпечують більшу точність отриманих листів через те, що вони мають більшу жорсткість робочої кліті. У таких прокатних станах, зазвичай, після чорної робочої кліті встановлюють вертикальний окалиноломач. Мають вони доволі високу жорсткість кліті, що забезпечує отримання листів достатньої якості.

Товстолистовий прокатний стан 3600 (рис.1.4) призначено для гарячого прокатування товстих листів, що мають товщину від 5 до 50 мм і ширину від 2000 до 3000 мм і довжину від 6 до 28 м. річна продуктивність такого листопркатного стану дорівнює 1,75 млн. тонн. Вихідний матеріал для таких прокатних станів – злитки до 37 т.

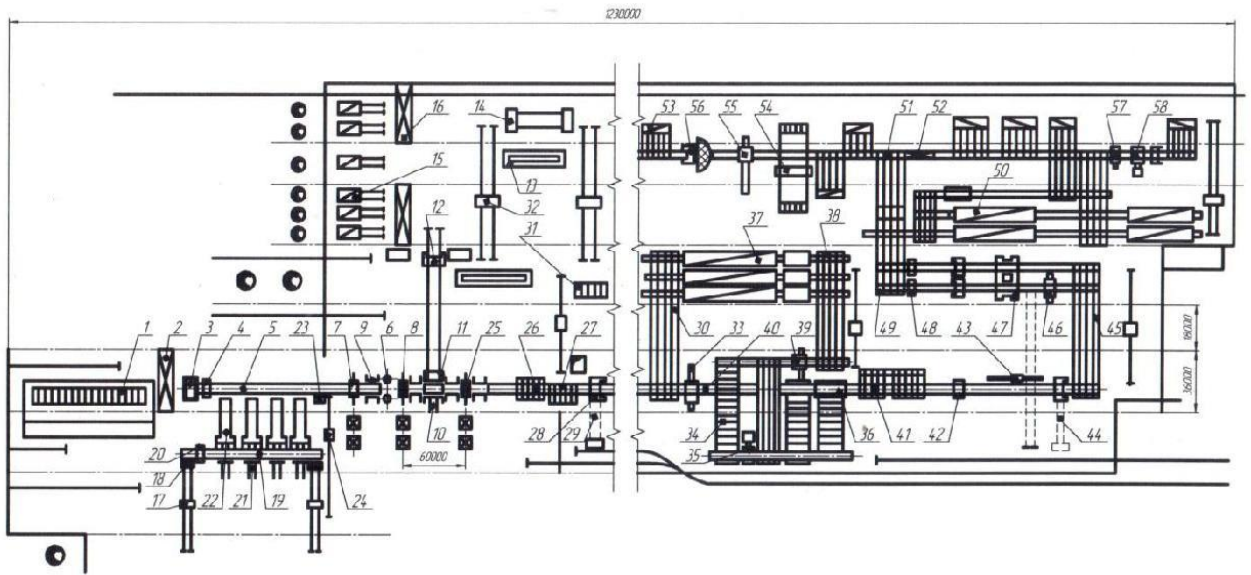


Рисунок 1.4 – План розташування обладнання товстолистового стану 3600: *I* – склад вихідних матеріалів; *II* – проліт нагрівних печей; *III* – становий проліт; *IV* – машинний зал; *V* – склад готової продукції; 1 – колодязі для нагрівання вихідних матеріалів; 2 – 50-ти тонний кліщовий кран; 3 – перекидач; 4 – поворотний пристрій; 5 – рольганг; 6 – вертикальна прокатна кліть; 7-12,32 – візки; 13,14,54 – обладнання для вогневого зачищення розкатів; 8 – чорнова прокатна кліть 1130/1800x3600 мм; 9 – лінійки маніпулятора; 10 – зіштовхувач вихідних матеріалів; 11 – підйомно-опускний стіл; 15 – камерні нагрівні печі; 16 – мостові електричні крани; 17 – візки для вихідних матеріалів; 18 – підйомно-опускний стіл для розкатів; 19,40 – завантажувальні рольганги; 20 – ваги; 21 – пічні штовхачі; 22 – методичні печі; 23 – стелажі; 24 – візок; 25 – реверсивна чистова чотиривалкова прокатна кліть 1050/1800 x3600 мм; 26 – роликотермічна машина; 27 – кантувач листів; 28 – ножиці поперечного розрізання розкатів; 29 – транспортер обрізків; 30,38,49,51 – шлепери; 31,53 – кармани; 33,35,39,55,57,58 – правильні машини; 34,36 – холодильник; 37 – термічні печі для нормалізаційної обробки розкатів; 41,45 – інспекційні стелажі; 42 – дефектоскоп; 43 – розміточна машина; 44 – транспортер для відбору лабораторних проб; 46 – дискові ножиці для обрізання бокових кромки розкатів; 47 – кромкообрізні барабанні ножиці; 48 – клеймовані та маркіровані пристрої; 50 – печі для термічної обробки листів; 51 – рольганг-ваги; 53 – ножиці з полем „гусиних шийок”

До сучасного листопрокатного обладнання відносять напівбезперервні та безперервні прокатні стани.

Переваги безперервний прокатних станів – це висока швидкість прокатування, що забезпечує високу продуктивність.

Безперервні листопрокатні стани гарячого прокатування працюють зі швидкістю до 30 м/с. Такі прокатні стани є багатоклітьовими. Вони мають у своєму складі 3 чорнові робочі кліті та до 9-ти чистових робочих клітей.

До таких станів належить широкоштабовий прокатний стан 2000, схему розташування якого наведено на рис.1.5. Цей прокатний стан призначений для гарячого прокатування штаби, що має товщину від 16 до 16 мм, ширину від 1000 до 1850 мм. вихідний матеріал для прокатування – це безперервно-литі сляби масою до 36 т, що мають товщину від 230 до 300 мм і довжину до 10,5 м. ці прокатні стани прокатують зі швидкістю до 27 м/с. Широкоштабовий прокатний стан 2000 має у своєму складі 13 горизонтальних прокатних клітей у складі яких п'ять чорнових прокатних клітей, з яких одна двовалкова прокатна кліть та чотири чотиривалкові прокатні кліті і чистової безперервної групи прокатних клітей, які складаються з 8-ми чотиривалкових прокатних клітей. Перед чорновою групою прокатних клітей встановлено двовалкову вертикальну кліть, що забезпечує бокове обтиснення. Таке обтиснення дозволяє вирівняти бокові сторони безперервнолитого слябу та частково вивести окалину.

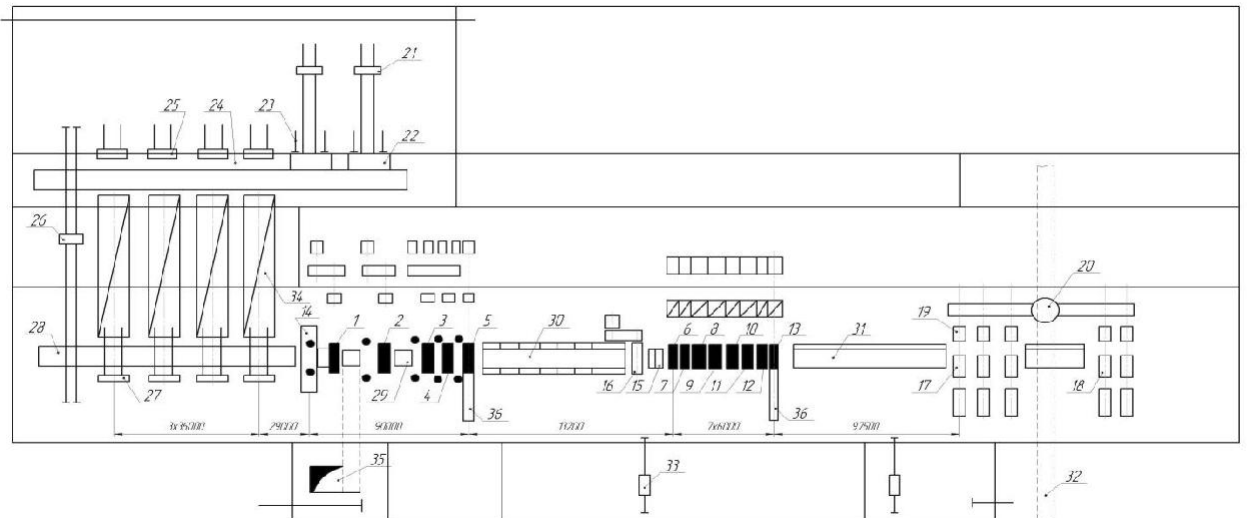


Рисунок 1.5 – План розташування обладнання листопрокатного цеху гарячого прокаткування з безперервним широкоштабовим станом 2000: *I* – склад безперервно-литих слябів; *II* – становий проліт; *III* – машинний зал; *IV* – трансформаторний зал; *V* – ремонтномеханічна ділянка; *VI* – склад прокатних валків; *1* – двовалкова прокатна кліть; *2* – чорнова кліть універсальна; *3-5* – безперервна триклітьова підгрупа чорнових клітей; *6-13* – безперервна чистова група чотиривалкових прокатних клітей; *14* – чорновий вертикальний окалиноломач; *15* – чистовий вертикальний окалиноломач; *16* – летючі барабанні ножиці; *17,18* – моталки; *19* – візок з кантувачем; *20* – поворотний стіл; *21* – візок для безперервно-литих слябів; *22* – підйомний стіл; *23* – зіштовхувач безперервно-литих слябів; *24* – пічний завантажувальний рольганг; *25* – пічні штовхачі; *26* – візок передачі безперервно-литих слябів; *27* – приймач безперервно-литих слябів з нагрівної печі; *28* – пічний прийомний рольганг; *29* – рольганг чорнової групи клітей; *30* – проміжний рольганг; *31* – відвідний рольганг; *32* – транспортери; *33* – передавальні візки; *34* – нагрівні печі з крокуючими балками; *35* – яма для окалини; *36* – обладнання для заміни валків

Вертикальні кліті цього листопрокатного стану мають діаметр прокатних валків 1200 мм і довжину бочки валків – 650 мм. При виході з вертикальної кліті розкат, що отримано, спрямовується до чорнового двовалкового окалиноломача, що мають горизонтальні прокатні валки, які остаточно видаляють окалину. Цей окалиноломач має у своєму складі валки діаметром 1400 мм і довжині бочки цих валків 2000 мм.

Далі, отриманий розкат спрямовується до чорнової універсальної групи клітей, що має у своєму складі чотири робочі кліті з діаметром опорних валків 1600 мм, робочих 1180 мм, а довжина їх бочки 2000 мм.

Для видалення вторинної окалини використовують чистовий окалиноломач роликів типу, який має дві пари притискних роликів. Після ретельного очищення від окалини, розкат спрямовується до чистової безперервної групи клітей, яка має у своєму складі вісім чистових клітей кварто. Робочі кліті чистової групи мають опорні прокатні валки, діаметром 1600 мм, робочі валки діаметром 800 мм і довжина бочки складає 2000 мм.

Після виходу листа з останньої прокатної кліті, він охолоджується на холодильниках та змотується на роликотарабанних моталках.

Також для виготовлення листів широко використовуються напівбезперервні широкозмугові прокатні стани. Для таких прокатних станів характерне те, що вони у своєму складі мають чорнову кліть, яка працює у реверсивному режимі і чистову групу прокатних клітей, яка працює у безперервному режимі і має у своєму складі 5 – 7 чистових робочих клітей. такі прокатні стани дозволяють отримувати гарячекатані листи товщиною від 2 до 4 мм і шириною до 3200 мм.

Такий прокатний стан у своєму складі також має вертикальний окалиноломач, розширювальну двовалкову кліть. Перед чистовою групою клітей встановлено окалиноломач та летючі ножиці.

Напівбезперервні листопрокатні стани бувають звичайні та комбіновані. Звичайні прокатні стани мають у своєму складі чорнову групу клітей з вертикальними прокатними валками та реверсивної кліті з горизонтальними

валками. За чорною групою клітей встановлено чистову безперервну групу клітей, що забезпечують отримання листів потрібних розмірів. Після чого відбувається їх охолодження.

У комбінованих напівбезперервних листопрокатних станах чорнова група клітей здатна випускати готову товстулистову продукцію. Після виходу товстого листа з чорної групи, розкат може спрямовуватися до чистової групи клітей, де відбуваються подальші обтиснення з метою отримання тоншого листа, а може товстий лист бути спрямований, як готова продукція, на відділочні операції або на термічну обробку.

Одним з прикладів такого прокатного стану можна вважати безперервний широкосмуговий прокатний стан 2300/1700. План розташування комбінованого напівбезперервного прокатного стану наведено на рис. 1.6.

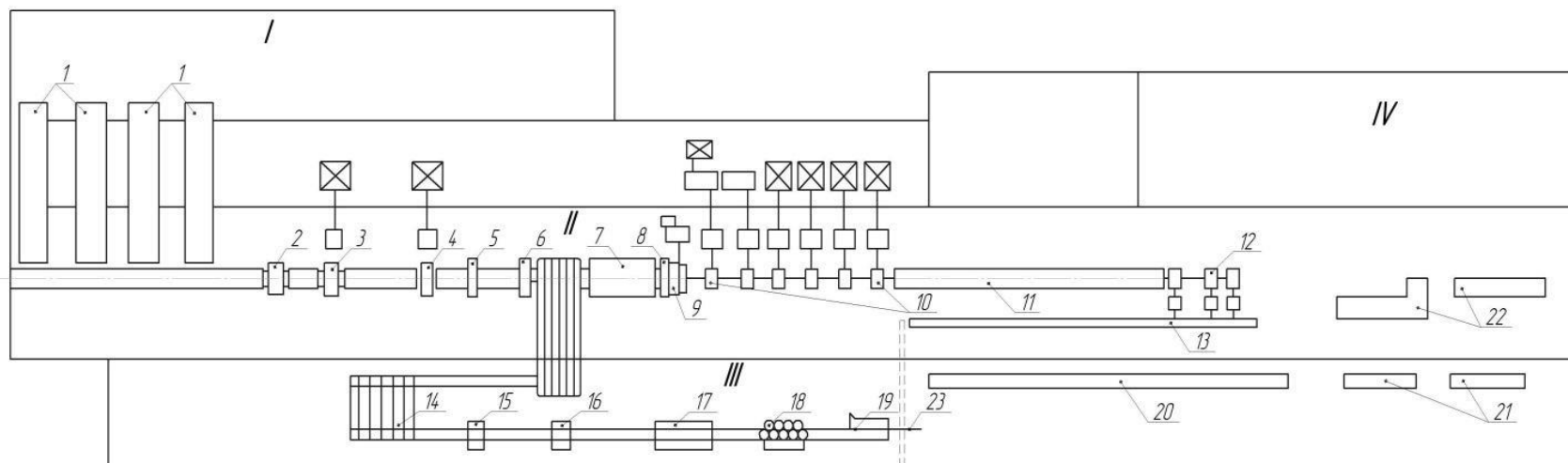


Рисунок 1.6 – План розташування обладнання комбінованого напівбезперервного стана 2300/1700: *I* – склад вихідних матеріалів; *II* – проліт стана; *III* – проліт обробки товстолистого прокату; *IV* – склад готової продукції; 1 – нагрівальні печі; 2 – вертикальний окалиноломач; 3 – чорнова розширювальна кліть 1100×2300 мм; 4 – універсальна кліть кварто 750/1400×2300 мм; 5 – ножиці гарячого розрізання; 6 – пересувна роликів правильна машина; 7 – підігрівальна роликів піч; 8 – летучі ножиці для обрізання кінців штаби; 9 – чистовий окалиноломач дуо; 10 – чистові кліті кварто 700/1400×1700 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

Такий прокатний стан призначено для отримання листів, які мають товщину від 4 до 20 мм та ширину до 2000 мм, для виготовлення штабової сталі, що має розміри від 2 до 8 мм та ширину до 1500 мм у рулонах. У якості вихідного матеріалу використовуються для цього прокатного стану сляби або безперервно-литі зливки, що мають товщину до 150 мм, ширину до 1000 мм, довжину від 2 до 4 м та масу від 1 до 4 т. прокатний стан має продуктивність 1,3 млн. т/рік. У своєму складі прокатний стан має вісім прокатних клітей, два окалиноломача, з яких один чорновий, інший – чистовий, устаткування для обробки розкатів. У чорновій групі клітей встановлено вертикальний окалиноломач, що обтискує бічні поверхні та виводить окалину. Після окалиноломача розкат надходить до реверсивної розширювальної прокатної кліті, де смуга прокатується в декілька проходів з метою отримання потрібної ширини. Далі листи прокатують у реверсивній чорновій групі прокатних клітей кварто, що має розміри прокатних валків 750/1400x2300 мм.

Отримані листи розрізають на ножицях гарячого розрізання з метою отримання потрібної ширини та спрямовують їх для охолодження на транспортер-охолоджувач. Після охолодження отриманих листів до заданої температури, їх спрямовують до дискових ножиць, де відбувається обрізання кромки, після чого листи надходять до гільйотинних ножиць, де здійснюється їх розрізання на мірні довжини. після цього обрізані листи за допомогою листоукладачів укладають на стелажі. Далі, в залежності від вимог до якості листа, може відбуватися правка, розтягування, термічна обробка отриманого листа.

Для отримання тонких листів, товсті листи, що отримані з чорнової групи прокатних клітей, спрямовують у підігрівальну роликову піч. після чого підігрітий лист надходить до чистової безперервної групи прокатних клітей кварто 700/1400 1700 мм. Перед чистовою групою відбувається відрізка кінців смуги летючими ножицями та виведення окалини у чистовому окалиноломачі. Далі розкат, після видалення окалини, спрямовується до чистової групи прокатних клітей, де відбувається подальше його обтиснення

до потрібної товщини. Далі лист змотують у рулони за допомогою моталок. Рулони за допомогою транспортерів спрямовують у цех холодного прокатування для отримання холоднокатаного листа, або направляють до агрегатів розрізання.

Після прокатування лист спрямовують на термічну обробку, де виконується закалочні операції.

1.3 Способи отримання безперервно-литого слябу

В роботі пропонується гарячекатаний лист, що має товщину 10 мм виготовляти з безперервно-литого слябу.

Такий сляб отримується в машинах безперервного лиття заготовок.

Такий матеріал отримується завдяки переходженню рідкої сталі в твердий стан з одночасним надбанням визначеної потрібної форми.

Кристалізація рідкого матеріалу відбувається в мідному кристалізаторі-охолоджувачі.

Агрегати, що забезпечують отримання безперервно-литих слябів, це високоякісні агрегати, що дозволяють захистити метали та сплави від вторинного окиснення за допомогою використання високоякісних вогнетривів. Такі машини дозволяють забезпечити оптимальні величини коливання і автоматичного підтримання рівня металу в мідному кристалізаторі, автоматично запобігати прориву металу та сплаву, підвищувати якість внутрішньої будови отриманих матеріалів за допомогою введення у рідку фазу електромагнітного поля тощо.

Машини безперервного лиття заготовок дозволяють зменшити питомі витрати на виробництво металопродукції.

В сучасному світі створення обладнання для безперервного лиття заготовок, що досягло значних технологічних і економічних показників для типових машин, де відбувається розливка слябу, блюму, круга, сортової заготовки. Це дозволило сконцентрувати свою увагу на альтернативних концепціях по створенню ливарно-прокатних агрегатів для отримання

прокатної продукції. Розвиток перспективних технологій і конструкцій машин безперервної розливки сталі зараз відбувається в русі створення прогресивних та надійних виробничих модулів, які прагнуть набути гнучкого технологічного зв'язку при суміщенні процесів виплавки сталі та сплавів, її розливки і наступної прокатки металовиробів.

Суть безперервної розливки сталі полягає у тому, що рідкий метал з розливного ківшу, який встановлено над машиною безперервного лиття слябів через проміжний ківш безперервно виливається у верхню частину мідного водоохолоджуємого пристрою, який має назву кристалізатора, де попередньо в нього введено затравку, яка служить подом для першої порції рідкого металу, який поступово затвердіває. Після того, металевий сплав попередньо набув кристалічної форми, затравка витягається з кристалізатора. Разом з затравкою витягається і частина затверділого безперервно-литого слябу. Рідка сталь постійно поповнює кристалізатор. У кристалізаторі твердої форми набуває тільки поверхневий шар металевого сплаву, який безпосередньо примикає до внутрішніх стінок кристалізатору. Серцевина слябу переходить в твердий стан більш повільно і довше залишається рідкою. Для подальшої кристалізації безперервно-литого слябу при виході його з кристалізатора-охолоджувача за ним встановлено зону вторинного охолодження, де безперервно-литий сляб кристалізується за усім поперечним перерізом. Таким чином, отримується безперервно-литий сляб нескінченної довжини. безперервна розливка сталі має ряд переваг у порівнянні з дискретною. При цьому способі зменшуються втрати металевого сплаву на 15-20 % на обрізі кінців отриманого матеріалу. В умовах безперервної розливки сталі та його кристалізації отримується твердий виріб з рівномірною структурою за усією довжиною [5].

1.4 Обладнання для отримання безперервно-литого слябу

За конструкцією машини безперервного лиття класифікуються на вертикальні, горизонтальні, радіальні, роторні (рис. 1.7). Перевагу надано машині безперервного лиття слябів радіального типу.

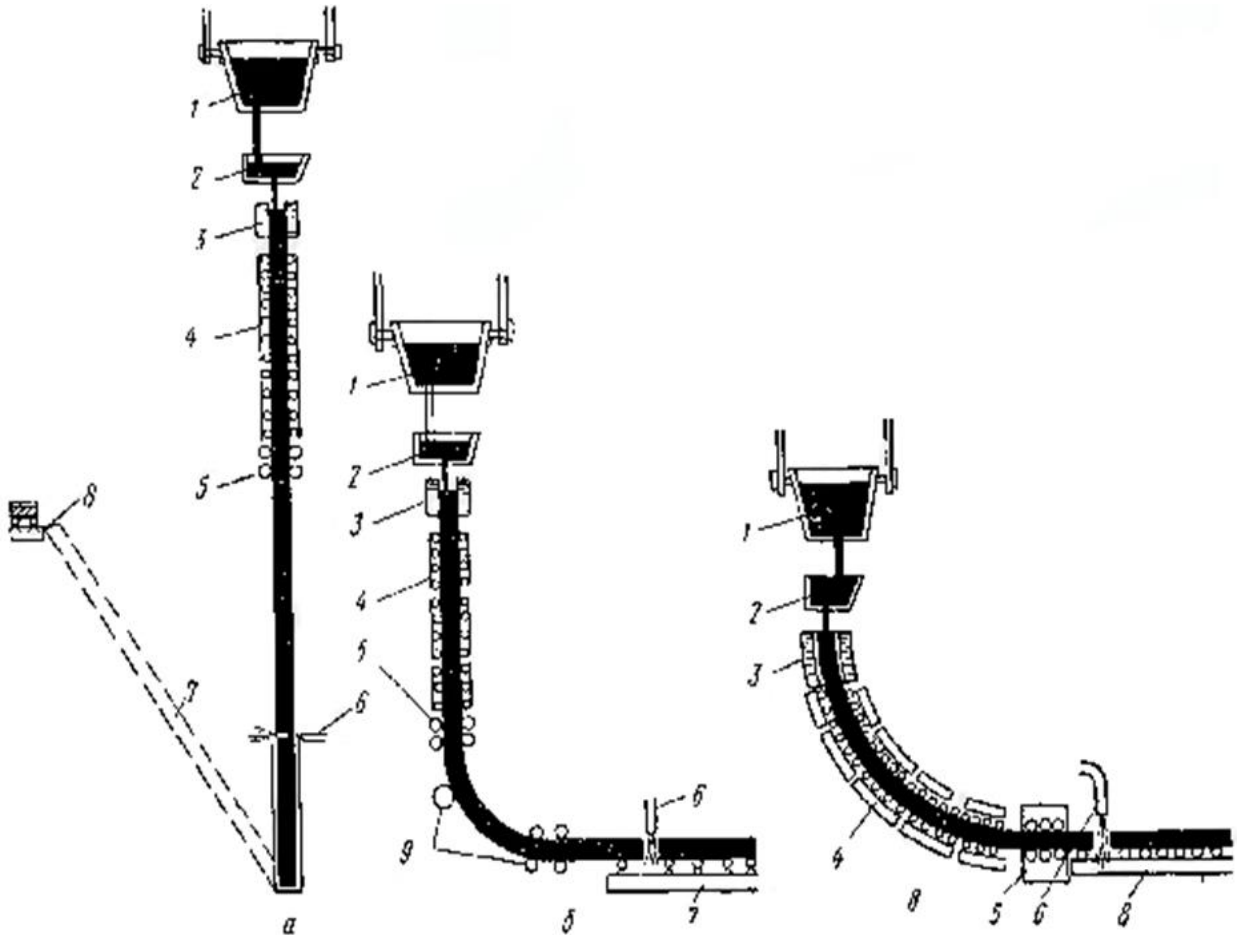


Рисунок 1.6 – Схема МБЛЗ: *а* – вертикальна; *б* – з вигином зливка;

в – радіальна; 1 – сталерозливний ківш; 2 – проміжний ківш;

3 – кристалізатор; 4 – зона вторинного охолодження; 5 – тягучі валки;

6 – автоматичний різак; 7 – підйомник; 8 – рольганг;

9 – вигинаючий механізм

Переваги машин безперервного лиття заготовок вертикального типу у тому, що усі процеси кристалізації сплаву відбуваються у вертикальній площині, що забезпечує отримання якісної внутрішньої структури металу та спрощує конструкцію самого агрегату. Недолік цього агрегату у тому, що

існує обмеження швидкості розливки через те, що її збільшення вимагає збільшення технологічної довжини машини, що потребує додаткові капіталовкладення на її устанавлення, а також обмежується висотою будівлі.

Висота агрегатів для безперервного лиття з вигином зливка або радіальних менша, як у вертикальних. Вигин матеріалу, що кристалізується з переведенням його в горизонтальне положення відбувається на установці горизонтального типу після тягнучих клітей (рис. 1.7, б). Нарізання виробу на мірні довжини здійснюється на ділянці, що розташовано горизонтально. Така конструкція машини безперервного лиття сталі дозволяє спростити умови подачі матеріалу до холодильнику.

Машини безперервного лиття заготовок радіального типу мають більшу швидкість розливки сталі як вертикальні та з вигином заготовки [6]. В машинах безперервного лиття заготовок радіального типу кристалізатор має форму дуги потрібного радіусу закруглення (рис. 1.7, в). При виході з кристалізатора матеріал надходить в зону вторинного охолодження, що складаються з роликів секцій, які охолоджуються за допомогою системи водяних форсунок.

1.5 Загальні технологічні операції з виготовлення товстих листів

Відомо що товсті листи можна прокатувати з зливків, слябів. Прокатуються товсті листи в гарячому стані.

Перша операція при виготовленні листів – це підготування вихідних матеріалів до прокатування та їх нагрівання.

При виборі початкового матеріалу перевага надається слябам, що мають невелику товщину та максимальну ширину. Це сприяє зменшенню кількості проходів на прокатному стану, зменшенню часу на виготовлення кінцевої продукції, збільшенню продуктивності процесу та зниженню собівартості виробництва. При цьому довжина слябу обмежується довжиною бочки прокатних валків з метою виконання розбивки ширина листа. Ширину слябу

обирають більшою за ширину листа на 20-50 мм з метою обрізання бічних кромek.

У випадку коли розбивку ширини не виконують, то обмежуються максимальною температурою нагрівання слябу або різницею температури переднього та заднього кінцю матеріалу.

Нагрівання вихідних матеріалів, таких як сляби, здійснюється в методичних печах з торцевої посадки та видачою. Широко використовується чотиризонна піч з підігрівом повітря в керамічних рекуператорів до температури 800°C та підігріванням газу в металевих рекуператорах до 450°C. Така піч має розміри: довжина печі 40 м та ширина 10 м. У якості палива використовується суміш доменного та коксового газу або природний газ.

Нагрівні печі мають завантажувальні рольганги та рейкові штовхачі, що дозволяють завантажувати матеріали для нагрівання. Нагріті матеріали спрямовують від печі до першої групи прокатної кліті за допомогою підволячого рольгангу. Під час гарячого прокатування матеріалів відбувається поступове зменшення температури, що підвищує опір пластичної деформації матеріалу, що обробляється. З метою уникнення такого недоліки потрібно нагрівати сляби до максимально можливої температури.

Температура нагрівання вихідних матеріалів залежить від марки матеріалу тоб-то від його хімічного складу і дорівнює:

$$T_n = 0,8 \cdot T_{пл},$$

де T_n – температура нагрівання;

$T_{пл}$ – температура плавлення.

Зазвичай, для низьковуглецевих сталей ця температура дорівнює 1250÷1300°C, для середньовуглецевих – дорівнює 1050÷1200°C, для високовуглецевих - 950÷1000°C.

При нагріванні матеріалу до визначеної температури дуже важливо забезпечити рівномірне нагрівання матеріалу за усім поперечним перерізом. В іншому випадку можуть виникнути різні дефекти, утворитися внутрішні розриви смуги, підвищитися зношення прокатних валків, створитися

ймовірність їх руйнування. Рівномірне нагрівання забезпечить добру пластичну деформацію, зменшить витрати енергії на процес.

Тривалість нагрівання залежить від розмірів вихідних матеріалів та температурою початку нагрівання.

Після нагрівання сляби та заготовки відвантажуються за допомогою спеціального приймального устаткування, що мають привід переміщення.

Після нагрівання матеріал штовхаючим видається з печі та укладається на рольганг, за допомогою якого транспортується до вертикального окалиноломача чорнової групи прокатного стану. Сучасні листопрокатні стани мають устаткування для регулювання швидкості переміщення матеріалу, що забезпечує плавність надходження початкового матеріалу до прокатного стану.

Вихідний матеріал транспортується до вертикальних валків, де отримує обтиснення на 15 – 80 мм за шириною. Це дозволяє розрихлити окалину, що утворилася на поверхні з метою її видалення. У цій кліті відбувається калібрування матеріалу за шириною. Утворену рихлу окалину збивають за допомогою води, що подається під тиском 15,0 МПа. Обтиснення у вертикальних валках виконують таким, щоб компенсувати розширення, що виникає при прокатуванні у горизонтальних прокатних валках.

Після цього нагрітий вихідний матеріал транспортують до прокатного стану, де виконують прокатування за розрахованими режимами обтиснення. Відбувається прокатування у чорновій, а потім у чистових клітках.

Умова безперервності процесу прокатування на безперервних листопрокатних станах, що постійність секундних об'ємів металу в кожній прокатній кліті. При потребі вирівняти температуру прокатування, обробка відбувається з прискорення процесу.

Після прокатування у чорновій кліті отримується розкат, який має товщину від 25 до 50 мм при температурі 1030 - 1120°C по проміжному рольгангу надходять до чистової групи клітей. Перед чистовою групою

встановлено летюсі ножиці для обрізання переднього та заднього кінцю розкату. Це дозволяє зменшити динамічні навантаження при захоплені.

Після обрізання переднього кінця розкат спрямовують у чистовий окалиноломач, де відбувається руйнування вторинною окалину, що утворилася під час знаходження розкату на проміжному рольгангу. Максимальна товщина цієї окалини дорівнює 0,02 мм.

Окалиноломач уявляє собою звичайну двовалкову кліть, що відрізняється від прокатної кліті тим, що валки притискаються за допомогою притискних стаканів.

Далі розкат надходить до чистової прокатної кліті, де також потрібно версти прокатування притримуючись постійності секундних об'ємів. З метою вирівнювання температури прокатування ведеться з прискоренням.

Після виходу отриманої смуги з останньої безперервної кліті, її транспортують до моталок, використовуючи для цього відводячі рольганги. На таких рольгангах смуга охолоджується до температури 200 - 250°C в залежності від марки матеріалу та потребуємих механічних властивостей. Далі смуга центрується і змотується з натяжінням.

Рулон знімається з барабанів моталкою візком та встановлюється на цепний транспортер. Рулони обв'язуються за діаметром сталеву стрічкою за допомогою спеціальних механізмів і спрямовується до механізмів обробки гарячекатаних рулонів.

При прокатуванні потрібно дотримуватися розрахованих режимів. Основним чинником, що обмежує величину обтиснення є кут захоплення металу та допустиме зусилля на прокатні валки.

Кут захоплення залежить від матеріалу прокатних валків. Для чавунних він дорівнює 17°, для легованих – 18-25°.

З метою покращення якості гарячекатаних рулонів виконують їх відділку. До відділочних операцій відносять розрізання гарячекатаних рулонів, для чого використовуються агрегати поперечного, поздовжнього

та комбінованого розрізання, їх травлення, термічна обробка, маркування, пакування.

При розрізанні потрібно, що температура листа дорівнювала приблизно 50°C, через те, що при більш високій температурі погіршується якість листа, утворюються заламуння при розмотуванні.

В якості термічної обробки здебільше виконується для вуглецевої та низьковуглецевої сталі нормалізаційне відпалення. Таке відпалення здійснюється з метою зняття наклепу, який утворюється при низькій температурі кінці прокатування. така термічна операція дозволяє покращити пластичні властивості матеріалу і забезпечує отримання дрібнозернистої структури.

Для вуглецевої та низьковуглецевої сталі, що має товщину більшу за 15 мм, замість нормалізації виконують закалювання з відпущенням, що покращує пластичні властивості і в'язкість сталі, забезпечує гарну штампуємість та легкість механічної обробки на металорізальних верстатах.

Також для покращення якості листової сталі, зменшення її різнотовщинності, планшетності та кривоватості виконують її правку на листопрямильних машинах.

Такі машини дозволяють вирівняти листовий матеріал після отримання його з прокатного стану. Це, як правило багатороликові машини, які поділяють на дві групи в залежності від розташування роликів:

- З паралельним розташуванням роликів (рис. 1.8 а);
- З похилим розташуванням роликів (рис. 1.8 б).

Роликоправні машини першої групи використовуються для правки товстих листів, які мають товщину, більшу за 12 мм. В деяких випадках такі машини використовують для попередньої правки тонких листів.

На листопрямильних машинах другої групи виконують правку тонких листів, що мають товщину до 4 мм.

При використанні машин з паралельним розташуванням роликів, лист, що обробляється, прогинається однаково під усіма роликами. При використанні машин з похилими роликами прогинання відбувається нерівномірно: максимальне прогинання буде здійснюватися під першими роликами, далі воно зменшується, а в останніх роликах таке прогинання нейтралізується.

Роликоправильні машини характеризуються основними параметрами:

- Діаметр роликів;
- Шаг роликів;
- Кількість роликів;
- Довжина бочки ролика;
- Швидкість правки.

При виборі роликів особливу увагу приділяють величині діаметру ролика та його шагу через те, що у тому разі, коли вони перевищують допустимі, то не буде забезпечено високу точність правки прокату, а при занадто малому діаметру та шагу буде збільшено тиск на ролики, що збільшує навантаження на машину.

Такі параметри визначають, використовуючи практичні та розрахункові дані.

Виходячи з розрахунків, шаг приймають рівним: $t=1,1D$, де D – це діаметр роликів.

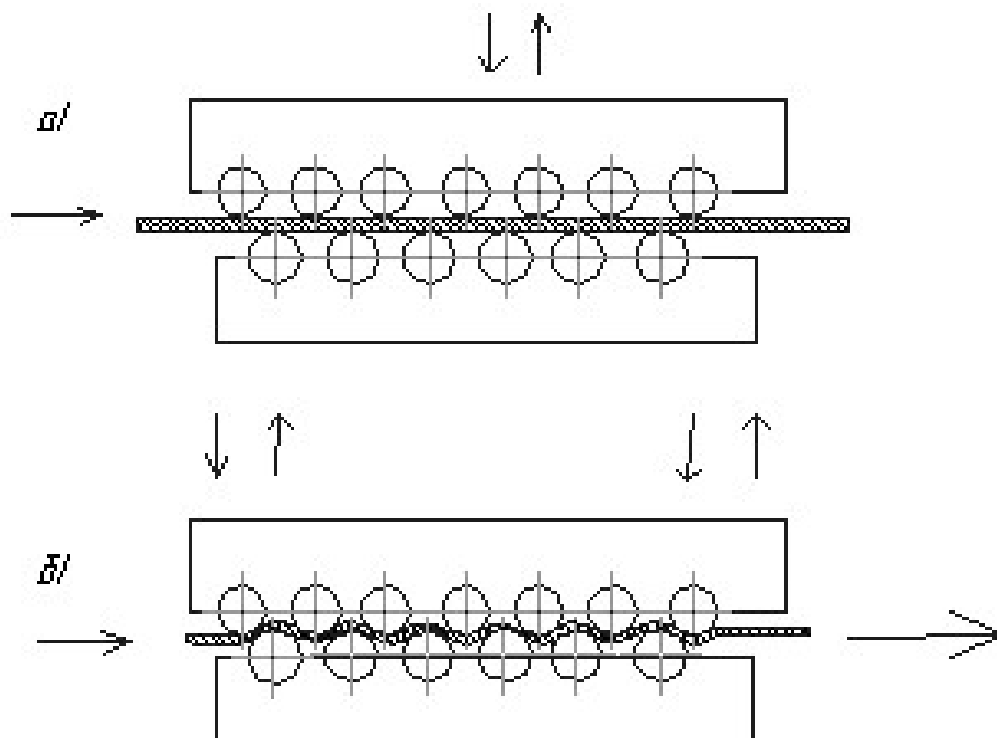


Рисунок 1.8– Роликові листоправильні машини: *а* – з паралельним розташуванням роликів; *б* – з похилим розташуванням роликів

Точність обробки на листоправильних машинах залежить від кількості роликів. Для правки листів, що мають товщину 4 мм використовують роликотправильну машину, що має кількість роликів від 9 до 11, для більш тонких листів використовують застосовують роликотправильні машини, що мають від 13 до 17 роликів, а в деяких випадках і до 23 роликів.

Швидкість правки приймається виходячи з продуктивності листопрокатного стану та товщини листа, що обробляється. Для тонких листів, що мають товщину до 4 мм, швидкість правки приймається від 0,4 до 6 м/с, для листів, що мають товщину більше 4 мм швидкість правки приймають для гарячекатаних листів від 0,1 до 0,5 м/с при холодній правці. Для гарячої правки листів, що мають товщину більше 4 мм швидкість правки приймається від 0,3 до 1,0 м/с .

В якості матеріалу для виготовлення роликів для правки гарячекатаних листів переважно використовується легована сталь з високою міцністю та твердістю. Для підвищення твердості бочки роликів піддають термічній обробці – загартуванню до тведості 55-65 HRC. Ролики для гарячої правки виготовляють із середньо вуглецевої сталі і наплавляють твердим сплавом.

1.6 Пропозиції з удосконалення технології отримання товстих листів

Виконавши аналіз способів та засобів, що використовується для виготовлення гарячекатаного листа, приходимо до висновки, що лист, який має товщину 10 мм, відноситься до товстолистової продукції.

В якості вихідного матеріалу для виготовлення товстого листа надаємо перевагу безперервно-литому слябу через те, що він має визначені переваги перед зливком, що отриманий дискретним литтям, або слябом.

Для зменшення опору деформації, про прокатуванні будемо нагрівати початковий матеріал.

Вивчивши обладнання, що використовується для виготовлення товстих листів, їх склад та принцип роботи віддаємо перевагу безперервному прокатному стану, що має у своєму складі чорнові та чистові чотиривалкові кліті. Такий листопрокатний стан дозволить отримати точний виріб з достатньо високою продуктивністю.

Далі потрібно визначити раціональні режими обтиснення листа та розрахувати швидкісні режими.

РОЗДІЛ 2

ІНОВАЦІЙНІ РОЗРОБКИ ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ ТОВСТОЛИСТОВОЇ СТАЛІ, ЩО МАЄ ТОВЩИНУ 10 ММ, З БЕЗПЕРЕРВНО-ЛИТОГО СЛЯБА

2.1 Визначення вихідного матеріалу для отримання листа товщиною 10 мм

Для отримання листа товщиною 10 мм та шириною 1000 мм, в якості вихідного матеріалу будемо використовувати безперервно литих сляб. Для його отримання будемо використовувати машину безперервного лиття радіального типу.

Для виготовлення слябу використовується матеріал: низьковуглецева сталь марки Сталь 20. Ця сталь відноситься до якісної сталі.

Сталь 20 відноситься до нелегованої якісної сталі, яка використовується для виготовлення металоконструкцій і виробів, що функціонують при температурі від -40 до 450°C.

Хімічний склад Сталі 20

C	Si	Mn	P	S	Cr	Cu	Ni
0,17	0,17	0,35	<0,035	<0,04	<0,25	<0,3	<0,3
–	–	–					
0,24	0,37	0,68					

Механічні властивості:

- межа плинності 245 Н/мм²;
- межа міцності 410 Н/мм²;
- мінімальне подовження 25%;
- відносне звуження 50 %.

Така сталь з успіхом використовується для виготовлення листів.

Така сталь у рідкому стані при температурі 1600°C у розливному ківші транспортується до проміжного ківшу машини безперервного лиття заготовок радіального типу (Рис. 2.1)

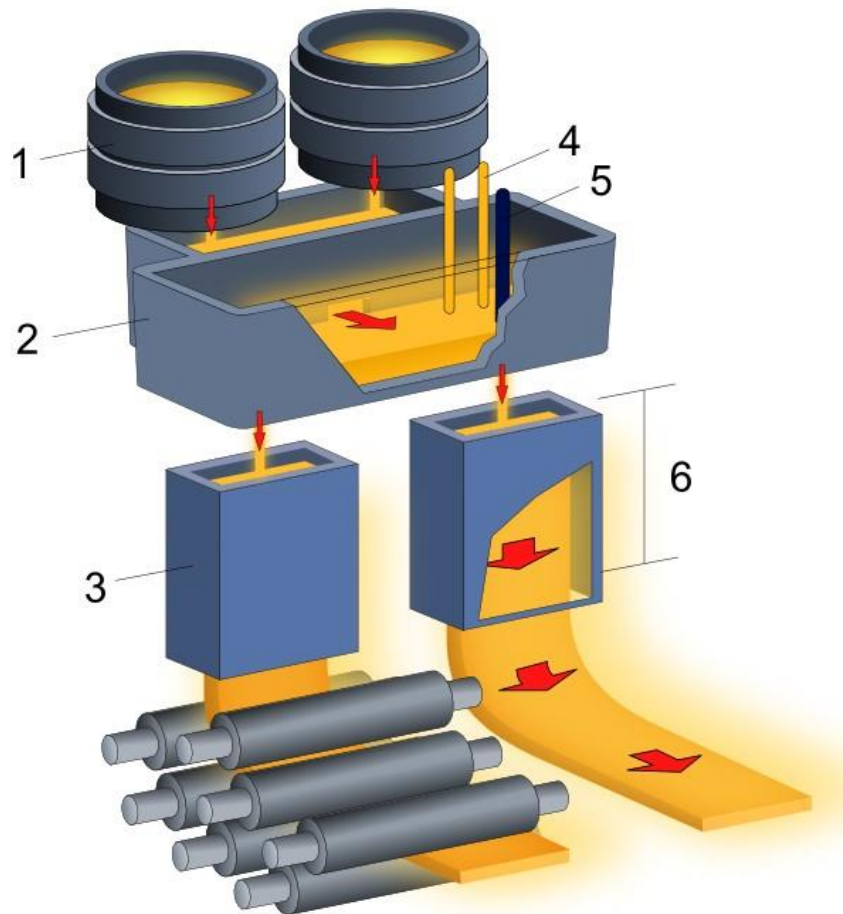


Рисунок 2.1 – Схема безперервного лиття слябів: 1 – розливний ківш; 2 – проміжний ківш; 3 – кристалізатор; 4 – нагрівний апарат; 5 – стопор; 6 – зона початкового охолодження.

Слябова машина безперервного лиття має дві ділянки: радіальну та прямолінійну. При переході першої ділянки у другу відбувається розгинання слябу привідними роликками машини.

З проміжного ковша рідка сталь надходить до кристалізатора, де відбувається інтенсивне охолодження. Стінки такого кристалізатора виготовляють з міді. З метою інтенсивного охолодження кристалізатор остуджується водою, що циркулює по каналах кристалізатора. На початку процесу у кристалізатор вставляється дно, що має назву затравка. Метал

поступову кристалізується біля стінок кристалізатора та затравки. Таким чином створюється тверда кірка, що поступово твердіє за усім поперечним перерізом. У той час коли виріб має ще рідку серцевину, він витягується з кристалізатора з заданою швидкістю. В кристалізатор безперервно подається рідкий метал в такій кількості, щоб рівень металу тримався на постійній величині. З метою зменшення сили витягування матеріалу кристалізатор має зворотно-поступовий рух за поздовжньою віссю. Поверхню рідкого металу в кристалізаторі покривають синтетичним шлаком. Далі заготовка надходить до зони вторинного охолодження, де на її поверхню подається розпилена рідина з форсунок.

Після того, як матеріал затвердів за усім поперечним перерізом розрізається на мірні частини.

Таким чином, отримано безперервно-литий сляб, що має товщину 250 мм, ширину 1050 мм, довжину 10,5 м.

2.2 Схема технологічного процесу виготовлення листа товщиною 10 мм на безперервному листопрокатному стані

Для отримання листа, що має товщину 10 мм, обрано прокатний стан 2000. Схема розташування такого стану наведено на рис. 1.4.

Такий стан призначено для гарячого прокатування смуги, що має ширину від 1000 мм до 1850 мм та товщиною від 1,2 до 16 мм зі слябів товщиною від 230 мм до 300 мм, довжиною 10,5 м, масою від 36 до 45 т, що отримуються безперервним литтям.

Такі матеріали зберігають на складі. Зі складу сляби за допомогою кліщового крану завантажують на візки, які транспортують їх до піднімальних столів, що знаходяться поблизу печі. Далі, безперервно-литі сляби зіштовхують на рольганг, зважують на вагах і завантажують у піч.

У печі відбувається нагрівання матеріалу до температури $T_n = 1280^\circ\text{C}$. З печі видаються механізмом без ударної видачі та завантажуються на приймальний рольганг.

Прокатний стан у своєму складі має 13 горизонтальних робочих клітей, що складаються з чорнової та чистової групи. Чорнова група має п'ять безперервних клітей, з яких одна двовалкова та чотири чотиривалкові, що мають робочі та опорні прокатні валки. Чистова група має вісім безперервних чотиривалкових прокатних клітей. перед чорнової групою знаходиться двовалкова вертикальна кліть, де обтискуються вертикальні боки безперервно-литого слябу.

Вертикальна кліть має валки діаметром 120 мм і довжину бочки валків 650 мм.

За допомогою цього рольгангу транспортуються сляби до вертикального окалиномача, де попередньо видаляється окалина. У кліті, що має вертикальні валки, безперервно-литий сляб обтискується за шириною на 50 мм з метою отримання розрихленої окалини. Тут же відбувається калібрування слябу з шириною. Окалину видаляють водою, що подається під тиском до 15 МПа.

Далі відбувається прокатування в чорновій групі прокатних клітей при витримці секундних об'ємів. Прокатування відбувається у вертикальних клітях кварто, які мають діаметр опорних валків 16600 мм і робочих 1180 мм, довжина їх бочки дорівнює 2000 мм.

Після цього розкат надходить до чистової групи клітей перед якою встановлено ножиці для обрізання переднього та заднього кінців розкату. Це зменшує навантаження на чистову кліть при захопленні металу прокатними валками. Після обрізання переднього кінцю, розкат спрямовують у чистовий окалиноломач, де відбувається руйнування вторинної окалини, що утворилася під час знаходження розкату на проміжному рольгангу. Товщина шару вторинної окалини дорівнює 0,2 мм. обтиснення у чистовому окалиноломачу дорівнює 0,2 мм.

Далі відбувається прокатування з натягінням, що забезпечує стійкість процесу прокатування та зменшення сил тертя, що дозволяє зменшити витрати енергії.

Чистова група клітей має опорні валки з діаметром 1600 мм і робочі валки з діаметром 800 мм, довжина бочки прокатних валків дорівнює 2000 мм.

Далі відбувається розрізання гарячекатаних листів ножицями гарячого розрізання, виправлення отриманого листа на пересувній роликотправильній машині.

Далі відбуваються контрольні операції, охолодження матеріалу до температури 250°C.

Після охолодження кромки товстих листів обрізають за допомогою дискових ножиць.

після чого відбувається змотування листа за допомогою моталок. Змотування відбувається з натягінням, де утворюється цільний рулон.

Рулон знімається з барабану моталки візком змінником, кантується у вертикальне положення. Рулони обв'язують за діаметром сталевую стрічкою.

2.3 Визначення режимів обтиснення при гарячому прокатуванні листа, що має товщину 10 мм

Прокатування листів у чорнових прокатних клітях бажано виконувати з максимальним обтисненням у кожній кліті. При визначенні максимального обтиснення потрібно враховувати кут захоплення та діаметр прокатних валків.

При визначенні режимів обтиснення потрібно, щоб воно не перевищувало максимально дозволене, яке визначається за формулою:

$$\Delta h_{max}=0,5 k_n D_p \alpha^2, \quad (2.1)$$

де D_p – діаметр робочих валків;

k_n – коефіцієнт переточування прокатних валків, який дорівнює: $k_n=0,92$;

α – кут захоплення, що допускається прокатними валками, кут захоплення знаходиться за формулою:

$$\alpha = \sqrt{R\Delta h}, \quad (2.2)$$

де R – радіус робочих валків, мм;

Δh - величина абсолютного обтиснення.

Допустимий кут захоплення для валків, що виконані зі сталі 9ХС дорівнює $\alpha = 23^\circ = 0,04$ рад.

Максимальне обтиснення при прокатуванні буде дорівнювати для чорної кліті:

$$\Delta h_{max} = 0,5 \cdot 0,92 \cdot 1180 \cdot 0,04 = 23 \text{ мм.}$$

У чистових клітях кут захоплення можна збільшити до 25° , що буде дорівнювати $0,45$ рад. Максимальне обтиснення при прокатуванні для чистової групи клітей буде дорівнювати:

$$\Delta h_{max} = 0,5 \cdot 0,92 \cdot 800 \cdot 0,045 = 17 \text{ мм.}$$

Значить обтиснення при прокатуванні за один прохід у чорновій групі клітей повинно бути меншим за 23 мм, а у чистовій – 17 мм.

Тиск металу на прокатні валки при гарячому прокатуванні товстих листів не повинен перевищувати допустимий, який залежить від матеріалу валків та їх розмірів.

Тиск металу на прокатні валки робочої кліті кварто розраховується за формулою:

- З умов міцності бочки опорних валків

$$P_{don} = (0,8D_{on}^3[\sigma_{on}] / (2\alpha - L)); \quad (2.3)$$

- З умов міцності шийки прокатного валка

$$P_{don} = (0,4d_{on}^3[\sigma_{on}] / l_{on}). \quad (2.4)$$

З умов міцності шийки робочого валка

$$P_{don} = (0,4d_p^3[\tau_p]) / \sqrt{R\Delta h}, \quad (2.5)$$

де D_{on} – діаметр бочки опорного прокатного валка;

d_{on} – діаметр шийки опорного валка;

α – кут захоплення;

$[\sigma_{on}]$ – допустиме нормальне напруження, що виникає на бочці прокатного валка;

$[\tau_p]$ – допустиме дотичне напруження, що виникає в шийці робочого валка;

R – радіус робочого валка;

Δh – величина обтиснення смуги при прокатуванні;

l_{on} – довжина бочки опорного валка;

L – відстань між підшипниками валків, визначається за формулою:

$$L = a + l_{on}, \quad (2.6)$$

де a – ширина шийки опорного валка.

Максимальне обтиснення для бочки прокатного валка визначається за формулою:

$$\Delta h_{\max} = \frac{0,32D^5[\sigma]^2}{[(L + l - 0,15B)PB]^2}, \quad (2.7)$$

Максимальне обтиснення для шийки прокатного валка визначається за формулою:

$$\Delta h_{\max} = \frac{0,32d^5[\tau]^2}{(PB)^2}. \quad (2.8)$$

Діаметр шийки опорного прокатного валка дорівнює:

$$d_{on} = (0,6 - 0,8) D_{on}. \quad (2.9)$$

Визначається величина відносного обтиснення за формулою:

$$\varepsilon = \frac{\Delta h}{h_0}, \quad (2.10)$$

де Δh – абсолютне обтиснення, визначається за формулою:

$$\Delta h = h_0 - h_1, \quad (2.11)$$

h_0 – початкові товщина листа;

h_1 – товщина листа після проходу.

При прокатуванні на безперервних листопрокатних станах потрібно чітко дотримуватися швидкісних умов з метою отримання секундних об'ємів.

При прокатуванні використовують в чорновій групі кліть з вертикальними валками, що обтискає сляб з боків (рис. 2.2). У такій кліті відбувається добре обтиснення листа з метою його пророблення з усіх боків, зменшити тріщини та інші дефекти, знімається окалина. У чорновій кліті передбачається прокатування з прискоренням, яке дорівнює 0,01 м/с.

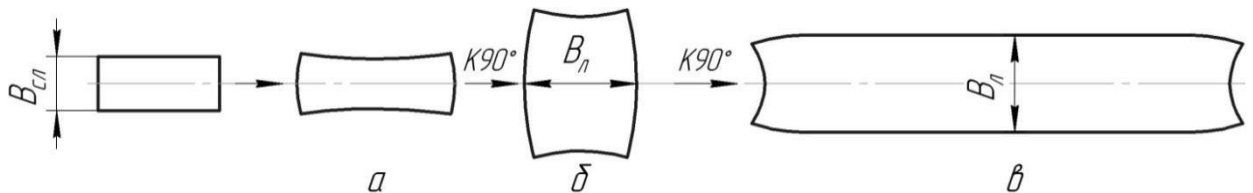


Рисунок 2.2 – Схема гарячого прокатування листа

Таким чином, отримали розміри розкату після окалиноломача 250x950x11605 мм.

Відповідно цієї схеми спочатку відбувається поздовжнє прокатування для отримання ширини листа 1000 мм.

При гарячому прокатуванні вихідного матеріалу з метою отримання листа товщиною 10 мм потрібно виконати загальне обтиснення:

$$\Delta h_{\Sigma} = 250 - 10 = 240 \text{ мм.}$$

Розподіляємо загальне обтиснення між чорновими та чистовими прокатними клітками.

Прокатний стан має у своєму складі 13 прокатних клітей тому, є можливість зробити 13 проходів, причому більші величини обтиснення потрібно давати в чорнових клітках, менші в чистових. Через те, що сляб має високу температуру на початку прокатування величину обтиснення у перших клітках можна збільшити до 30 мм.

Тоді, розміри листа після першого проходження будуть дорівнювати:

$$h_1 = 240 - 30 = 210 \text{ мм;}$$

відносне обтиснення у першому проході буде рівним:

$$\epsilon = 30 / 210 = 0,125.$$

Після другого проходження отримаємо:

$$h_2=210 - 30=180 \text{ мм};$$

відносне обтиснення у другому проході буде рівним:

$$\varepsilon=30/180=0,142.$$

У подальших проходах величину обтиснення потрібно зменшувати, приймаємо у третьому, четвертому та п'ятому проході обтиснення 25 мм. далі також зменшуємо і приймаємо у шостому та сьомому 20 мм. У восьмій робимо обтиснення 15 мм. У дев'ятій, десятій та одинадцятій по десять міліметрів, дванадцятій та тринадцятій по 3 мм.

Розподіляємо величини обтиснення між клятими (табл. 2.1).

Таблиця 2.1 – Розподіл величин обтиснення між клітьми

№ про-ходу	Тов-щина, мм	Абсолют-не обтиснення, мм	Відносне обтиснення, %	Зусилля прокатування, МН	Швидкість прокатування, м/с
Сляб	240	-			
1	210	330	12,5	32,3	0,33
2	180	30	14,2	33,2	0,38
3	155	25	13,9	30,1	0,44
4	130	25	16,1	39,8	0,56
5	105	25	19,2	32,5	0,615
6	85	20	29,0	29,8	0,762
7	65	20	23,5	25,8	1,23
8	50	15	23,0	23,4	1,6
9	40	10	20,0	20,5	2,0
10	30	10	25,0	17,7	2,666
11	20	10	33,3	16,2	4,0
12	15	5	25,0	15,5	5,333
13	10	5	33,3	14,8	8,0

2.4 Швидкісні умови прокатування

Швидкість прокатування в клітках безперервного прокатного стану визначає його продуктивність та температуру обробки, опір деформації.

З метою забезпечення постійності секундних об'ємів потрібно, щоб зберігалася умова:

$$h_1 b_1 v_1 = \dots = h_{13} b_{13} v_{13} = \text{const}, \quad (2.12)$$

де $h_6 \dots h_{12}$ – товщина смуги на виході з кліті, м;

$b_6 \dots b_{12}$ – ширина смуги на виході з кліті м;

$v_6 \dots v_{12}$ – швидкість смуги на виході з кліті, м/с.

Розширення смуги при прокатуванні листа не відбувається, тому ми можемо записати:

$$h_1 v_1 = \dots = h_{13} v_{13} = \text{const}, \quad (2.13)$$

Виходячи з виразу (2.12), отримаємо для безперервного прокатного стану:

$$v_{13} = h_1 v_1 / h_{13}. \quad (2.14)$$

Виходячи з виразу (2.13) видно, що швидкість збільшується від першої кліті до останньої для безперервного прокатного стану.

Швидкість прокатування у останній прокатній кліті буде дорівнювати $v_{13}=8$ м/с. Тоді, швидкість прокатування у першій кліті визначиться за формулою:

$$v_1 = h_{13} v_{13} / h_1, \quad (2.15)$$

і буде дорівнювати: $v_1 = 10 \cdot 8000 / 240 = 0,33$ м/с.

Розраховуємо швидкість прокатування у кожній кліті.

В другій прокатній кліті швидкість буде дорівнювати: $v_2 = 0,38$ м/с.

В третій прокатній кліті: $v_3 = 0,44$ м/с.

В четвертій прокатній кліті: $v_4 = 0,56$ м/с.

В п'ятій: $v_5 = 0,615$ м/с.

В шостій: $v_6 = 0,762$ м/с.

У сьомій: $v_7=1,230$ м/с.

Восьмій: $v_8= 1,6$ м/с.

Дев'ятій: $v_9= 2,0$ м/с.

Десятій: $v_{10}= 2,666$ м/с.

Одинадцятій: $v_{11}=4,0$ м/с.

Дванадцятій: $v_{12}= 5,333$ м/с.

Результати розрахунку занесено в таблицю 2.1

Таким чином видно, що швидкість прокатування поступово збільшується від першої кліті до останньої, що забезпечує постійність секундних об'ємів.

2.5 Температурний режим прокатування

Температурний режим прокатування є дуже важливим чинником через те, що він визначає внутрішню структуру матеріалу і, відповідно, його властивості. Насамперед на структури отриманого матеріалу впливає умови прокатування у двох останніх прокатних клітках: температура прокатування, величина обтиснення та швидкість деформації.

Температура кінцю прокатування у останній кліті повинна бути вищою за температуру початку виділення фериту з аустенітної фази, що залежить від швидкості охолодження у останніх клітках, вмісту вуглецю та легуючих елементів.

Для забезпечення раціональної температури кінця прокатування потрібно ретельно регулювати теплові втрати на проміжному рольгангу, які можуть досягати від 18 до 27 % від усіх температурних втрат. Основний чинник від якого залежить ступінь охолодження матеріалу на проміжному рольгангу – це тривалість знаходження розкату на рольгангу та його товщина. Така залежність наведена на рис. 2.3.

З рисунку видно, що при збільшенні часу знаходження розкату на рольгангу та зменшення його товщини призводить до збільшенню теплових втрат.

Одним зі способів регулювання температури розкату є встановлення на проміжному рольгангу теплових екранів.

Також регулювати температуру кінцю прокатування можна збільшенням швидкості деформації.

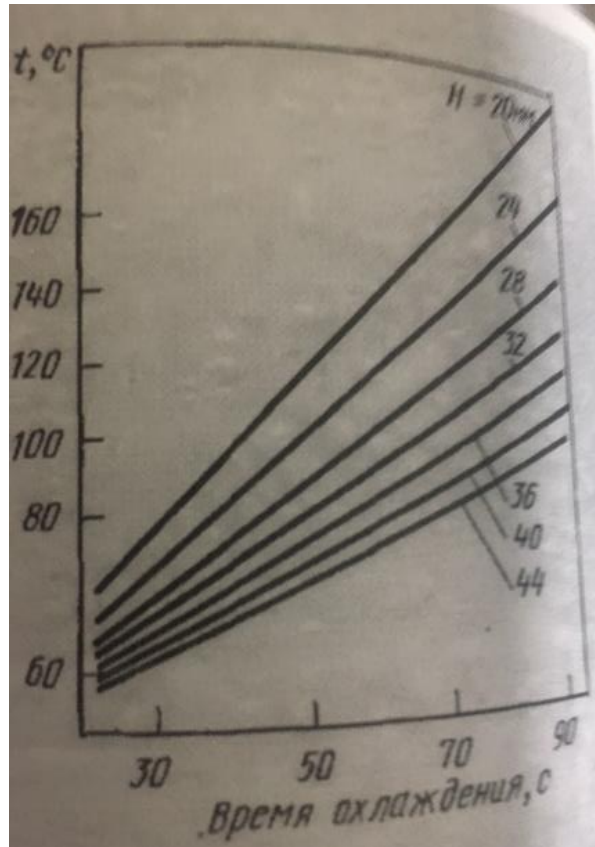


Рисунок 2.3 – Вплив товщини розкату та часу охолодження на зменшення його температури на проміжному рольгангу

Вивчивши діаграму, визначаємо час охолодження розкату.

На проміжний рольганг розкат надходить після п'ятою прокатної кліті, де має товщину 105 мм, що є доволі велика товщина, тому дозволяється, при необхідності, розкату в цьому випадку знаходитися на проміжному рольгангу до 2 хвилин, що здано забезпечити не велике зменшення температури, і без підігріву надходити до чистової шостої безперервної кліті.

Після виходу з останньої кліті під час транспортування по відповідному рольгангу рольганг розкат піддається прискореному охолодженню. Для

цього використовують душируючі устаткування, що знаходяться після чистової групи клітей перед моталками.

Такі устаткування поділяють на верхні, нижні та з ламінарною подачею води.

Високу інтенсивність охолодження мають верхні ламінарні системи. Така система складається з 12 секцій, що розташовано на висоті 1500 мм над рівнем рольгангу.

Зменшення температури прокатування за кожен прохід визначалося за формулою:

$$\Delta t = 0,0021 \left(\frac{T}{100} \right)^4 \frac{t}{h_{cp}}, \quad (2.16)$$

де T – температура початку прокатування, °С;

t – час прокатування, с;

h_{cp} – середня висота смуги, м, знаходиться за формулою:

$$h_{cp} = (h_0 - h_i)/2, \quad (2.17)$$

де h_{i-1} – товщина смуги до входу у прокатну кліть;

h_i – товщина смуги на виході з кліті.

Час прокатування для безперервного прокатного стану дорівнює:

$$t_i = \frac{L_i}{v_i}, \quad (2.18)$$

де L_i – довжина смуги після першого проходу, м;

v_i – швидкість прокатування в кліті, м/с.

Для першої прокатної кліті середня товщина смуги:

$$h_{cp1} = (240+210)/2=225 \text{ мм.}$$

Час прокатування у першій кліті дорівнює:

$$t_i = \frac{10,5}{0,33} = 31,8 \text{ с.}$$

Зменшення температури у першій кліті дорівнює:

$$\Delta t_1 = 0,0021 \left(\frac{1280}{100} \right)^4 \frac{31,8}{0,225} = 7,9^\circ\text{C.}$$

У другій кліті: $\Delta t_2 = 8,1^\circ\text{C}$

У третій кліті: $\Delta t_3 = 8,1^\circ\text{C}$

У четвертій кліті: $\Delta t_4 = 9,8^\circ\text{C}$

У п'ятій кліті: $\Delta t_5 = 8,7^\circ\text{C}$

У шостій кліті: $\Delta t_6 = 9,5^\circ\text{C}$

У сьомій кліті: $\Delta t_7 = 10,4^\circ\text{C}$

У восьмій кліті: $\Delta t_8 = 9,3^\circ\text{C}$

У дев'ятій кліті: $\Delta t_9 = 9,3^\circ\text{C}$

У десятій кліті: $\Delta t_{10} = 9,3^\circ\text{C}$

У одинадцятій кліті: $\Delta t_{11} = 9,2^\circ\text{C}$

У дванадцятій кліті: $\Delta t_{12} = 9,1^\circ\text{C}$

У тринадцятій кліті: $\Delta t_{13} = 9,1^\circ\text{C}$

Таким чином, видно, що при прокатуванні постійно відбувається зменшення температури у кожному проході на 8 - 10°C.

Таким чином відбувається охолодження металу під час прокатування до 920°C.

Після цього лист піддають повільному охолодженню на відводячому рольгангу до температури 850°C. Час витримки складає 5 с.

Після охолодження листа до температури 620°C, його передають для змотування на моталках.

Для листа, що має товщину 10 мм, переважним є використання для змотування формуючих роликів, що щільно притиснені до смуги. Змотування відбувається без натягнення. В моталці встановлено дві пари таких роликів.

Після змотування декількох витків на барабані відбувається його розтиснення до максимального діаметру. Для правильного настроювання при змотуванні потрібно регулювання зазорів між барабаном та формуючими роликами, також потрібно точно обрати мить розширення барабану до максимального діаметру. При цьому швидкість захоплення листа буде дорівнювати 10 м/с.

Рулони обв'язують та відправляють на відділочні операції.

Відбувається обрізання кромки та поздовжнє розрізання отриманого листа на агрегаті поздовжнього розрізання. В подальшому на цьому агрегаті відбувається змотування листа у рулони.

Цей агрегат вважається агрегатом швидкого руху, де відбувається розрізання зі швидкістю від 1 до 5 м/с. Далі відбувається правка отриманого листа на правильній машині.

Далі смуга спрямовується до дискових ножиць, де відбувається обрізання кромки, після цього смуга спрямовується до маркувальної машини, де відбувається маркування. Далі, на листоправильній машині відбувається остаточне правлення листа.

Відбувається термічна обробка листа, де виконуються наступні операції: нормалізація, закалювання та відпалення.

Під час нормалізації відбувається зняття наклепу, що утворився під час прокатування, з метою покращення механічних властивостей та подрібнення зерна.

ВИСНОВКИ

В кваліфікаційній роботі розроблено технологію виготовлення товстолистової сталі, що має товщину 10 мм, з безперервно-литого сляба.

В роботі проаналізовано призначення і класифікація листової сталі, де виявлено, що сталь, яка має товщину 10 мм користується великим попитом в будівництві при створенні мостів та перекриттів, в машинобудуванні при створенні корпусів.

Розглянуто класифікацію листової сталі та способи її виготовлення, де було отримано висновок, що лист, який має товщину 10 мм, відноситься до товстого листа і виготовляється гарячим прокатуванням.

Проаналізовано обладнання, що використовується для гарячого прокатування листів, його будову та принцип дії. Надано перевагу безперервному прокатному стану БШПС 2000 через те, що він здатен

випускати лист, що має товщину 10 мм за сталі марки Сталь 20 потрібної якості, з раціональною структурою та продуктивністю з безперервно-литого слябу. Таких прокатний стан має чорнову та чистову безперервні групи прокатних клітей кварто, що забезпечує потрібну жорсткість при прокатуванні, яка впливає на якість листа.

В якості початкового матеріалу в роботі використовується безперервно-литий сляб через, те що такий матеріал забезпечує високу якість листа, однорідність внутрішньої структуру, міцність, що позитивно впливає на термін працездатності листового виробу. Проаналізовано способи отримання безперервно-литих слябів та обладнання, що для цього використовується. Надано перевагу дворівчачовим машинам безперервного лиття заготовок через їх компактність розташування та забезпечення високої якості листової продукції.

Розроблено технології виготовлення листа гарячим прокатуванням з безперервно-литого слябу, де визначено раціональні режими обтиснення та розподілено їх за проходами. Визначено швидкість прокатування за окремими проходами та температурний режим обробки, що забезпечує отримання якісної продукції при мінімальній тривалості обробки. Запропоновано відділочні операції та режими термічної обробки, що дозволяє покращити якісь та отримати продукцію з необхідними механічними характеристиками.

ЛІТЕРАТУРНІ ДЖЕРЕЛА

1. 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. – 199 с.
2. Серета, Б.П. Металознавство та термічна обробка чорних та кольорових металів [Текст]: підручник / Б.П. Серета. – Запоріжжя: ЗДІА, 2008. – 302 с. Бібліогр.: с. 310. – 300 прим. ISBN 978-966-7101-96-1
3. Серета, Б.П. Нові матеріали в металургії [Текст]: навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл. / Б.П. Серета. – Запоріжжя: ЗДІА, 2009. – 396 с. Бібліогр.: с. 310. – 300 прим. ISBN 978-966-7101-96-1
4. Серета, Б.П. Прокатне виробництво [Текст]: навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл. / Б.П. Серета. – Запоріжжя: ЗДІА, 2008. – 312 с. Бібліогр.: с. 310. – 300 прим. ISBN 978-966-7101-96-1
5. Визначення впливу режиму обтиснення при прокатуванні на внутрішню будову металу/Чубенко В.А., Хіноцька А.А.//Качество минерального сырья. Кривой Рог, 2018 Т2 С. 151-159.
6. Прищип, М.Г. Механічна обробка та зварювання металів [Текст]: навчальний посібник для студентів спеціальності ОМТ /М.Г. Прищип – Запоріжжя: ЗДІА, 2003 – 124 с.
7. 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.
8. Серета, Б.П. Обробка металів тиском [Текст]: навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл. / Б.П. Серета. – Запоріжжя: ЗДІА, 2009.

9. Коновалов, Ю.В. Справочник прокатника [Текст]: Кн.А. Производство горячекатанных листов и полос /Коновалов Ю.В. – М.; Теплотехник, 2008 – 640 с.
10. 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.
11. Щербаных, Э.Н. Проект технологического перевооружения НШС 1700 ОАО «ММК им. Ильича» (Э.Н.Щербаных, А.В. Нурашкин, В.М.Павтиев, О.В. Клименко //Сучасні проблеми металургії. Наукові вісті, т.в. Пластична деформація металів. Дніпропетровськ, 2005 – с. 255 – 258.
12. Чубенко В.А, Хіноцька А.А. Технологія процесів прокатування: Навчальний посібник. – Кривий Ріг: Видавець ФОП Чернявський Д.О., 2017. – 170 с.
13. Бережний М.М., Чубенко В.А. Основи проектування технологічних ліній та комплексів металургійних цехів: Монографія. – Кривий Ріг: Видавничий дім, 2010. – 444 с.
14. В. М. Данченко, В.О.Гринкеч, О.М.Головко. Терія процесів обробки металів тиском: Підручник. – Дніпропетровськ: Пороги, 2008. – 370 с.
15. Визначення впливу режиму обтиснення при прокатуванні на внутрішню будову металу/Чубенко В.А., Хіноцька А.А.//Качество минерального сырья. Кривой Рог, 2018 Т2 С. 151-159.
16. Процессы деформации металла на основе многовалковых калибров: Монография [Текст] / И.К.Огинский, В.Н.Данченко, А.А.Самсоненко, В.В. Бояркин. – Днепропетровськ: Пороги, 2011. – 355 с.
17. Компьютерное моделирование процесса обработки металлов давлением [Текст] / В.Н.Данченко, А.А.Миленин, В.И. Кузьменко, В.А.Гринкевич. – Днепропетровск. Системные технологии, 2005. – 448 с.
18. Исследование очага деформации при продольном прокатывании с точки зрения реологической концепции [Текст] /

Н.Н.Бережной, В.А.Чубенко, А.А.Хиноцкая, С.О.Мацешин// Восточно-Европейский журнал передовых технологий– том 1 № 7 (73) (2015), - с. 31-35 doi:10.15587/1729-4061.2015.38059

19. Kodjaspirov, G. E. Effect of thermomechanical processing on structure and corrosion-mechanical properties of AISI 321 steel [Text] / G. E. Kodjaspirov, A. I. Rudkoу, V. V. Rybin // Advanced Materials Research. – 2010 – Vol. 89-91. – P. 769–772. doi:10.4028/www.scientific.net/amr.89-91.769

20. Faraji, G. Accumulative Torsion Back (ATB) Processing as a New Plastic Deformation Technique [Text] / G. Faraji, H. Jafarzadeh //Materials and Manufacturing Processes. – 2012 – Vol. 27, Issue 5 – P. 507–511. doi: 10.1080/10426914.2011.593235

21. Вплив швидкості деформації на зміну напруження при поздовжньому прокатуванні [Текст] / Чубенко В.А., Хіноцька А.А. //Гірничий вісник. – 2019, Випуск 105. – С. 42 – 46.

22. Практическое руководство к программному комплексу DEFORM-3D: учебное пособие [Текст] / В.С.Паршин, А.П.Карамышев, И.И.Некрасов и др. – Екатеринбург: УрФУ, 2010. – 266 с.

23.Василев Я.Д. Теорія поздовжньої прокатки / Я.Д. Василев, О.А. Мінаєв. – Підручник. – Донецьк: УНІТЕХ, 2009. – 488 с.

24.Коновалов Ю. В. Пути решения температурной задачи прокатки / Ю. В. Коновалов, А. С. Хохлов // Обработка материалов давлением: сборник научных трудов. – Краматорск: ДГМА. 2012. – № 2 (31). – С. 185-188.

25.Бережний М.М. Енергетичний баланс осередку деформації при прокатуванні/ М.М.Бережний, А.А.Хіноцька, В.А.Чубенко// Ресурсозберігаючі технології виробництва та обробки тиском матеріалів у машинобудуванні: Зб. наук. пр. – Луганськ: вид – во СНУ ім. В.Даля, 2012. – С. 60 – 67.