Міністерство освіти і науки України

Запорізький національний університет
(повне найменування вищого навчального закладу)

Інженерний навчально-науковий інститут ім Ю.М. Потебні
(назва факультету)

Кафедра металургійних технологій, екології та техногенної безпеки
(повна назва кафедри)

Кваліфікаційна робота магістра

рівень вищої освіти___другий (магістерський) рівень_____
(другий (магістерський) рівень)

на тему___«Особливості застосування проміжного перемотувального пристрою «Coil-Box» в лінії стана гарячої прокатки 1680»_____

Виконав: студент ___2__курсу, групи *8.1363-омт*

__Суворов С. О._____
(ПІБ) (підпис)

спеціальності

____*136 Металургія*_____
(шифр і назва)

спеціалізація

_____
(шифр і назва)

освітньо-професійна програма

*обробка металів тиском*_____
(шифр і назва)

Керівник _Бєлоконь Ю.О._____
(прізвище та ініціали) (підпис)

Рецензент __Воденнікова О. С._____
(прізвище та ініціали) (підпис)

Запоріжжя - 2024 року

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

Кафедра *металургійних технологій, екології та техногенної безпеки*

Рівень вищої освіти *другий (магістерський) рівень*
(другий (магістерський) рівень)

Спеціальність *136 металургія*
(шифр і назва)

Освітньо-професійна програма *обробка металів тиском*
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри *МТЕТБ*
Ю. О. Бєлоконь

"__" _____2024 року

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Суворов Сергій Олександрович
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи (проєкта) «Особливості застосування проміжного перемотувального пристрою «Coil-Box» в лінії стана гарячої прокатки 1680»

керівник роботи (проєкту) *Бєлоконь Юрій Олександрович д.т.н, проф.*
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від "28" 02 2024 року № 363-с

2. Строк подання студентом роботи (проєкта) *01.12.2024*

3. Вихідні дані до роботи (проєкта) Розробка режиму прокатки штаби 3,0х900 мм зі слябу 140х900 мм з сталі 08Ю. Параметр дослідження – температурне поле прокатки штаби на стані гарячої прокатки 1680. Параметр оптимізації – Y_1 – середня температура прокатки, Y_2 – максимальна температура прокатки, Y_3 –мінімальна температура прокатки, Y_4 –зусилля прокатки.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) *Реферат. Вступ. Літературний огляд. Розрахунково-дослідницька частина, Індивідуальне завдання, Охорона праці та техногенна безпека, Висновки. Перелік джерел посилання.*

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
Креслення, презентаційний матеріал 12 слайдах (на 12 сторінках)

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата завдання прийняв
Літературний огляд	*Бєлоконь Ю.О., д.т.н., проф.*	
Розрахунково-дослідницька частина	*Бєлоконь Ю.О., д.т.н., проф.*	
Індивідуальне завдання	*Бєлоконь Ю.О., д.т.н., проф.*	
Охорона праці та техногенна безпека	*Бєлоконь Ю.О., д.т.н., проф.*	
Нормоконтроль	*Карпенко Г.В., к.т.н., доц.*	

7. Дата видачі завдання *01.03.2024*

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	*Вступ*		
2	*Реферат*		
3	*Літературний огляд*		
4	*Розрахунково-дослідницька частина*		
4	*Індивідуальне завдання*		
5	*Охорона праці та техногенна безпека*		
6	*Висновки*		

Студент _____ *С. О. Суворов*
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____ *Ю. О. Бєлоконь*
(підпис) (прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота магістра: 117 с., 13 табл., 44 рис., 33 джерела.

ПРОКАТКА, СТАН 1680, КЛІТЬ, ЗЛИВОК, ЗМОТУВАННЯ, ЕНЕРГОСИЛОВІ ПАРАМЕТРИ, ДЕФОРМАЦІЯ, РЕЖИМ ПРОКАТКИ.

Об'єкт дослідження – проміжний перемотувальний пристрій «Coil-Box» в лінії стана гарячої прокатки 1680 в умовах ПАТ «Запоріжсталь».

Мета роботи – вивчення впливу режиму прокатки на температурне поле прокатуємого металу та удосконалення технології змотування на «COIL-BOX», що дозволить забезпечити рівномірний розподіл температури по всій зовнішній і внутрішній поверхні розкату для наступної його прокатки в чистовій групі клітей.

Метод дослідження – проведений експерименту вирівнювання температури шляхом більше швидкої прокатки середини і кінця розкату. Сутність експерименту полягає в тім, що для одержання рівномірної температури по всій довжині розкату необхідно постійно підвищувати швидкість прокатки від головної до хвостової частини. Таким чином, швидкість прокатки заднього кінця розкату перевищить швидкість переднього, котрий уже вийшов із чистової групи клітей.

ЗМІСТ

ВСТУП.....6
1 АНАЛІЗ НАУКОВОЇ ІНФОРМАЦІЇ І СТАН ПРОБЛЕМИ.....7
1.1 Аналіз впливу температурних факторів на параметри прокатки штаб.....7
1.2 Види і причини виникнення дефектів.....12
1.3 Аналіз причин та методів усунення браку ……...30
2 ОБҐРУНТУВАННЯ ЗАДАЧІ ТА МЕТОДИКИ ДОСЛІДЖЕННЯ.....39
3 ОБРОБКА І ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....55
3.1 Розробка технологічного процесу прокатки.....55
3.2 Математичне моделювання температурного поля прокатки.....89
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА.....101
4.1 Аналіз потенційно небезпечних і шкідливих факторів виробничого середовища.....101
4.2 Розробка мір захисту від впливу небезпечних і шкідливих виробничих факторів.....103
4.3 Технічні рішення по виробничій санітарії.....103
4.4 Заходи щодо пожежної безпеки.....109
4.5 Заходи щодо захисту навколишнього середовища.....110
ВИСНОВОКИ …….....112
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ.....113

ВСТУП

В наш час найбільш ефективним способом виробництва гарячекатаних листів і штаб є прокатка на безперервних і напівбезперервних станах.

Частка листової продукції, що прокатується на цих станах, неухильно збільшується, що у великому ступені визначається значним ростом обсягу виробництва смугової сталі для трубної промисловості і холоднокатаного листового металу для енергомашинобудування, експортних замовлень, автомобільної промисловості, а також металовиробів широкого вжитку.

Разом зі збільшенням випуску листів, штаб значно розширюється їхній сортамент по розмірах і по марках металів, що прокатуються. Збільшується частка литсів з низьколегованих сталей.

Забезпечення необхідної продуктивності і високої якості гарячекатаної смугової сталі може бути здійснене за рахунок модернізації існуючих станів і будівництва нових широкополосних станів.

Розвиток виробництва гарячекатаної широкополосної сталі і поліпшення її якості може бути успішно здійснене при проведенні широких теоретичних і експериментальних досліджень енергосилових параметрів технологічного процесу, умов, що визначають одержання необхідної геометрії смуг, створення надійного і економічного головного і допоміжного устаткування станів і їхньої автоматизації.

1 АНАЛІЗ НАУКОВОЇ ІНФОРМАЦІЇ І СТАН ПРОБЛЕМИ

1.1 Аналіз впливу температурних факторів на параметри прокатки штаб

Вдосконалення температурно-швидкісних режимів деформації є однією з важливих умов, що забезпечує найбільш повне використання виробничих потужностей сучасних агрегатів і поліпшення якості гарячекатаних штаб.

При прокатці на сучасних станах передній кінець штаби прокатується на заправній швидкості, величина якої обмежується стійкістю штаби при переміщенні на відводящому рольгангу і умовами її захоплення моталкою. Заправна швидкість залежить в основному від товщини штаби і не перевищує 10-11 м/с. Після захоплення штаби моталкою швидкість прокатки збільшується для забезпечення сталості температури кінця прокатки і підвищення продуктивності стану. Максимальна швидкість прокатки на сучасних широкоштабових станах досягає 23 - 25 м/с.

Істотне підвищення продуктивності безперервних станів гарячої прокатки може бути повною мірою реалізовано при дотриманні умов одержання на них штаб заданих властивостей і розмірів.

Одним з основних факторів, що впливає на якість гарячекатаної штабової сталі, є температурний режим прокатки. Зокрема структура металу і його фізико-механічні властивості в значній мірі визначаються температурою кінця прокатки. Для одержання регламентованої структури і фізико-механічних властивостей штаби необхідно закінчувати прокатку при температурі, що відповідає області однофазного аустенітного стану металу.

Підвищення температури кінця прокатки на 25 - 30 °С призводить до зменшення розміру зерна фериту на чотири бали, а границю текучості - на 20%. Стабілізація температури кінця прокатки по довжині штаби за рахунок розгону чистової групи клітей привела до практично рівномірного розподілу

розмірів зерна фериту по довжині рулону. [8]

Численними дослідженнями рекомендується обмежити діапазон необхідних температур кінця прокатки для маловуглецевих сталей в межах 860-900°С. Експериментально отримані залежності границі текучості від температури кінця прокатки [9] дозволили визначити межі її зміни, в яких матеріал штаби, призначений для глибокої витяжки, має оптимальні фізико-механічні властивості: при температурі кінця прокатки 860°С величині відхилення допустимої межі плинності 13-15 МПа (1,3 - 1,5 кг/мм^2), межа зміни температури кінця прокатки складає ± (13-16 С) і ± (11-14°С).

Відомо, що температура кінця прокатки істотно залежить від швидкісного режиму роботи стану [10]. При прокатці на постійній швидкості відбувається спад температури кінця прокатки від переднього до заднього кінця штаби внаслідок визначеного перепаду температур по довжині підкату на вході в чистову групу клітей. Так, на стані „2000” НЛМЗ величина цього зниження досягає 50 °С, або 0,01 - 0,2 °С/м в перерахуванні на одиницю довжини штаб різної товщини. За даними роботи [11], зниження температури кінця прокатки по довжині штаб складає 20 – 42 °С. На стані „1700” КарМК температура кінця прокатки зменшується по довжині штаби на 20 - 50°С. Більш низький перепад температур по довжині штаб, що прокатуються на стані гарячої прокатки „1680” комбінату "Запоріжсталь", (25 - 27°С), пов’язаний з їх малою довжиною.

При збільшенні швидкості прокатки скорочується час перебування металу в чистовій групі, і, внаслідок цього, зменшуються втрати тепла за рахунок випромінювання і конвенції в міжклітинних проміжках і при контакті з робочими валками. Крім того, збільшення швидкості прокатки сприяє підвищеному тепловиділенню в результаті пластичної формозміни за рахунок росту опору деформації металу, що прокатується [12].

В останні роки високоміцні сталі з високою пластичністю, як правило одержують способом контрольованої прокатки. При прокатці товстих штаб

(6 – 15 мм) прагнуть зменшити температуру кінця прокатки (і в останніх проходах), що дозволяє зменшити розміри зерен.

У чистових клітях процес контрольованої прокатки закінчують при 680 – 750 ºС, що забезпечує збільшення границь текучості до 500 - 650 МПа. Однак зменшення температури прокатки приводить до збільшення опору деформації, а отже, зусилля і моменту прокатки. Характерно також, що коливання моменту сильніше, якщо захоплення листа відбувається при перемінній швидкості, тобто при прокатці з прискоренням.

Зміна температури кінця прокатки внаслідок зміни швидкості складає, для маловуглецевих сталей, що прокатуються на стані „2000”, $3-30\,^{\circ}C/(м/с)$, а для стану „1700” ця величина дорівнює $18-19\,^{\circ}C/(м/с)$.

Прокатка з прискоренням чистової групи клітей приводить до утворення зворотного температурного перепаду, при якому температура кінця прокатки підвищується до хвостової частини штаби.[14] Так, при збільшенні швидкості прокатки на 3,5 м/с при розгоні чистової групи клітей стану „1700”, отриманий зворотний температурний перепад по довжині штаб товщиною 1,5-2,0 мм, досягає 25-30 °С. Підвищення швидкості прокатки на 2,7 м/с, на станах „1700” і „2000”, приводить до росту температури заднього кінця штаби на виході з чистової групи приблизно на 30°С, в порівнянні з прокаткою на постійній швидкості.

Прокатка штаб в чистовій групі клітей з перемінною швидкістю може бути причиною значної нестабільності температури кінця прокатки по довжині штаби, що, в свою чергу, негативно відбивається на якісних показниках. Таким чином, стабілізація температури кінця прокатки і її підтримка на визначеному рівні є однією з основних умов одержання гарячекатаних штаб високої якості.[15]

Світова практика показала, що при нагріванні під гарячу прокатку на поверхні сталі утвориться трудноудаляєма окалина, що погіршує якість і властивості готової продукції. Максимальна товщина шаруючи окалини утвориться в сталі з найменшим змістом вуглецю, а мінімальна – у

високовуглецевій сталі. Нагрівання сталей при більш високій температурі (› 1000 ºС) приводить до утворення більшого шару окалини у високовуглецевій сталі. Це порозуміється тим, що окалина утрудняє проникнення кисню до поверхні стали і, отже, зменшує нарощування окалини. Тому представляється доцільним проведення науково-дослідних і технологічних робіт, спрямованих на поступове зниження температури гарячої прокатки. Це дозволить не тільки зменшити окислювання сталі при гарячій прокатці, але і впливати на формування мікроструктури і текстури і, отже на рівень властивостей прокату.[16]

Зміна температури кінця прокатки внаслідок зміни швидкості складає, для маловуглецевих сталей, що прокатуються на стані „2000”, 3 – 30 ºС/(м/с), а для стану „1700” ця величина дорівнює 18 – 19 ºС/(м/с).

Прокатка з прискоренням чистової групи клітей приводить до утворення зворотного температурного перепаду, при якому температура кінця прокатки підвищується до хвостової частини штаби.[14]

Так, при збільшенні швидкості прокатки на 3,5 м/с при розгоні чистової групи клітей стану „1700”, отриманий зворотний температурний перепад по довжині штаб товщиною 1,5-2,0 мм, досягає 25-30 °С. Підвищення швидкості прокатки на 2,7 м/с, на станах „1700” і „2000”, приводить до росту температури заднього кінця штаби на виході з чистової групи приблизно на 30°С, в порівнянні з прокаткою на постійній швидкості. Прокатка штаб в чистовій групі клітей з перемінною швидкістю може бути причиною значної нестабільності температури кінця прокатки по довжині штаби, що, в свою чергу, негативно відбивається на якісних показниках. Таким чином, стабілізація температури кінця прокатки і її підтримка на визначеному рівні є однією з основних умов одержання гарячекатаних штаб високої якості.[15]

Світова практика показала, що при нагріванні під гарячу прокатку на поверхні сталі утвориться трудноудаляєма окалина, що погіршує якість і властивості готової продукції. Максимальна товщина шаруючи окалини утвориться в сталі з найменшим змістом вуглецю, а мінімальна – у

високовуглецевій сталі. Нагрівання сталей при більш високій температурі (› 1000 ºС) приводить до утворення більшого шару окалини у високовуглецевій сталі. Це порозуміється тим, що окалина утрудняє проникнення кисню до поверхні стали і, отже, зменшує нарощування окалини. Тому представляється доцільним проведення науково-дослідних і технологічних робіт, спрямованих на поступове зниження температури гарячої прокатки. Це дозволить не тільки зменшити окислювання сталі при гарячій прокатці, але і впливати на формування мікроструктури і текстури і, отже на рівень властивостей прокату.[16]

В даний час існує тенденція заміни холоднокатаної продукції тонкою гарячекатаною штабою. Це дозволить істотно знизити собівартість продукції.

При традиційній гарячій прокатці температура повинна бути вище крапки Ar_3, при якій аустеніт під час охолодження починає перетворюватися у ферит ($\gamma \rightarrow \alpha$). Це необхідно для досягнення гарних механічних властивостей штаби. Більш того, гаряча прокатка аустенітно - феритних сталей веде до неоднорідності механічних властивостей і коливанням товщини прокату, що зв'язано зі зміною напруги пластичного плину і навантажень при прокатці, а також з регулюванням товщини. При зменшенні кінцевої товщини штаби прокатка цілком в аустенітній області стає усе більш важкою. Це особливо важливо для переднього кінця штаби через обмеження максимальної швидкості на вихідному рольгангу при порулонній прокатці через аеродинамічну нестабільність. Оптимальна температура прокатки штаби і її заднього кінця може бути досягнута шляхом збільшення швидкості в чистових клітях стану. Тому прокатку сталі у феритній області можна вважати перспективною. Вона полягає в чистовій прокатці штаби, що вже пройшла перетворення $\gamma \rightarrow \alpha$ перед станом і має цілком феритну структуру. Чорнова прокатка виконується в цілком аустенітній області. Потім штаба піддається інтенсивному охолодженню між чорновою і чистовою групами для зниження температури смуги нижче крапки Ar_3 перед входом у першу кліть чистової групи. Для такої прокатки найбільше підходить гнучка

установка для прокатки тонких слябів, розроблена фірмою «Даниэли Уин Юнайтед», є більш оптимальною.[18, 26]

Метою модернізації листопрокатних станів України є в основному освоєння виробництва тонких і надтонких штаб. Наприклад, у США і країнах ЄС спостерігається ріст споживання тонких гарячекатаних штаб на 6 – 8 % у рік. Виробництво таких штаб супроводжується збільшенням товщини і температури підкату чистовою групою клітей, підвищенням заправної швидкості і прискорення, зменшенням пауз між штабами. У цих умовах важливо забезпечити високу ефективність систем охолодження робочих валків, особливо якщо вони з легованого і високохромистого чавуна, а також міжклітинного охолодження штаб. Результати аналізу умов роботи валків і прокатки дозволили рекомендувати: збільшити розміри зони охолодження валка на 25 – 30 % з боку входу і виходу штаби з вогнища деформації; перерозподілити потік води по окружності валка, для чого установити на вихідній стороні три ряди сопів, що створює зони охолодження зі зменшуваної до опорного валка щільністю зрошення; наблизити зону охолодження до виходу з вогнища деформації; використовувати підстужування валків і штаби на вході у вогнище деформації; створити в міжклітинних проміжках дві ділянки охолодження штаби.

Система міжклітинного охолодження при регулюванні витрати води в діапазоні 0 – 300 м^3/год забезпечує зміну температури в кожнім проміжку від 0 до 30 ºЗ, що дозволяє більш гнучко керувати температурою кінця прокатки. При зміні типорозміру штаби, що прокочується, передбачається регулювання витрати води на охолодження валків і штаби.

1.2 Види і причини виникнення дефектів

Всі дефекти класифіковані не тільки по видах готового листового прокату, але і усередині кожного виду підрозділені по групах сталей (тобто стосовно до легованого і вуглецевого всіх ступенів розкислення). Такий

підрозділ доцільно, тому що ті самі дефекти, наприклад плівки, мають свої відмінні риси на різних сталях і видах прокату.

Спадкоємні дефекти слябів після слябінга

І. Низьколеговані і вуглецеві сталі

Розкатана тріщина (ДЕРЖСТАНДАРТ 20847–75), рис 1.1. На всій широкій грані грубі поздовжні тріщини, паралельні один одному, що чергуються через певні інтервали. Поздовжні тріщини, пересічені короткими звивистими поперечними тріщинами.

Основні ознаки дефекту. Ознаки, характерні для гарячих тріщин:

1) ліквація сірки в місці дефекту;

2) обезвглецевування і окислювання стінок несплашності;

3) ліквація фосфору.

Причини утворення дефекту:

а) високий зміст сірки (>0,045% S);

б) висока температура металу при розливанні;

в) висока швидкість розливання.

Гармошка (ДЕРЖСТАНДАРТ 21014–75) – невелика або по всьому слябу, рис. 1.2.

Основні ознаки дефекту. Посвітління в осьовій зоні, збагачене більше темною зоною, збагаченої лікватами.

Причини утворення дефекту:

1. Порушення технології хімічного закупорювання злитків — для киплячої або напівспокійної сталі

2. Незадовільне утеплення прибутку для злитків спокійної сталі.

3. Порушення умов кристалізації злитків через недотримання графіка руху сталерозливочних составів зі злитками між сталеплавильними цехами.

4. Прокатка злитків з неповністю закристалізованою серцевиною.

Тріщина-розщеплення (ДЕРЖСТАНДАРТ 21014–75), рис. 1.3. На передньому торці сляба з головної частини злитка в центральній частині:

а) груба несплашність, часто заповнена шлаками;

б) надриви металу без видимих несплашностей, що утворяться при порізу.

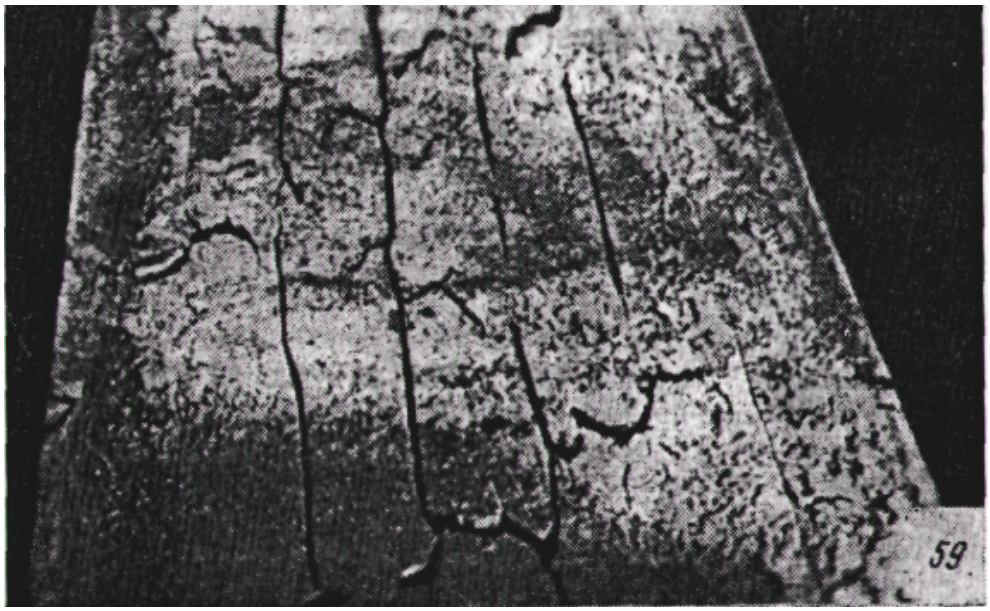


Рисунок 1.1 – Розкатана тріщина



Рисунок 1.2 – Гармошка

Основні ознаки дефекту. Заповнення тріщин і рванин шлаками, неметалічними включеннями і окалиною. Стінки тріщин і рванин зневуглецьовані.

Причини утворення дефекту. Глибоке залягання усадочної раковини і порожнеч усадочної рихлості в злитку.

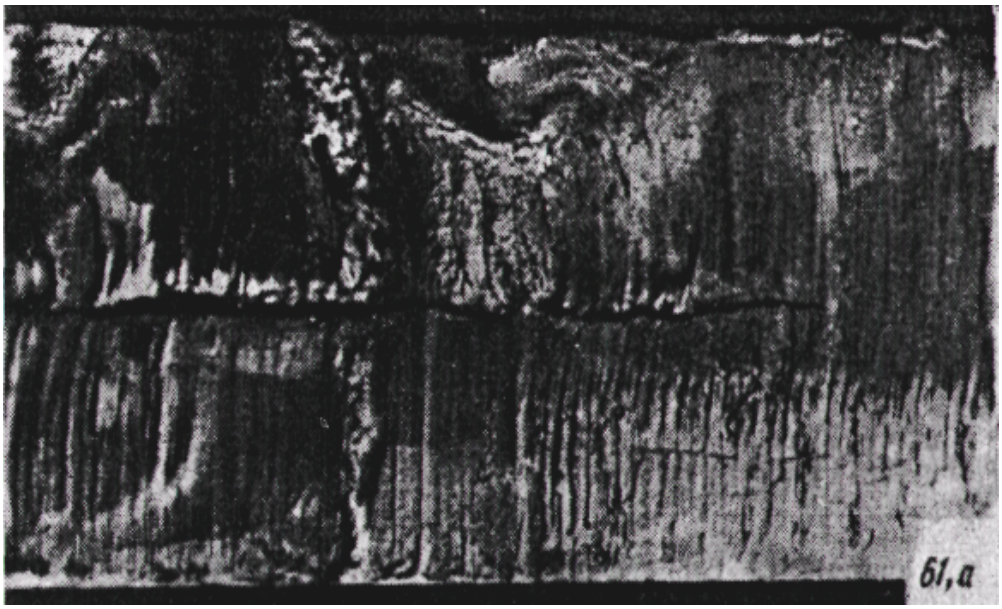


Рисунок 1.3 – Тріщина-розщеплення

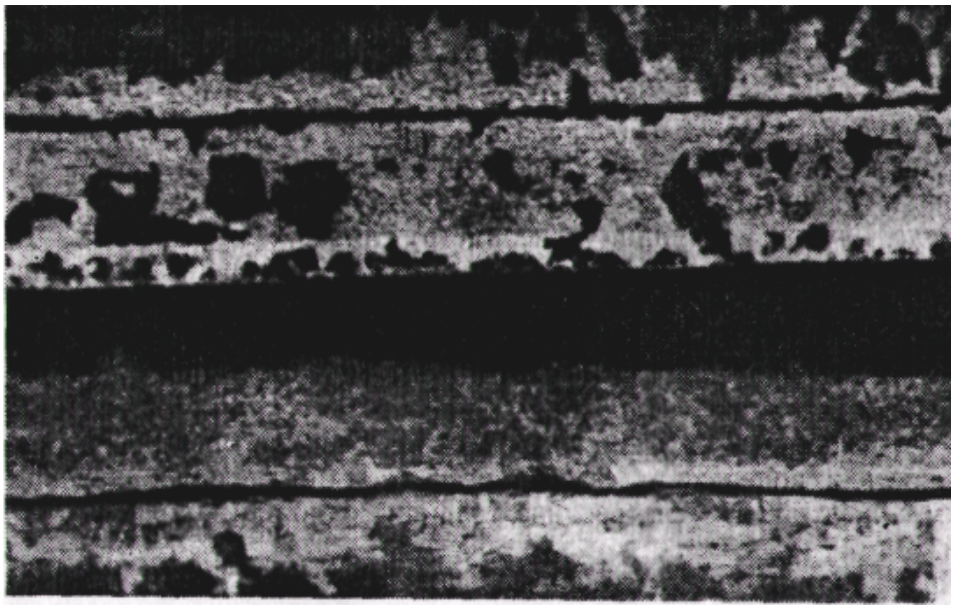


Рисунок 1.4 – Затягнута крайка

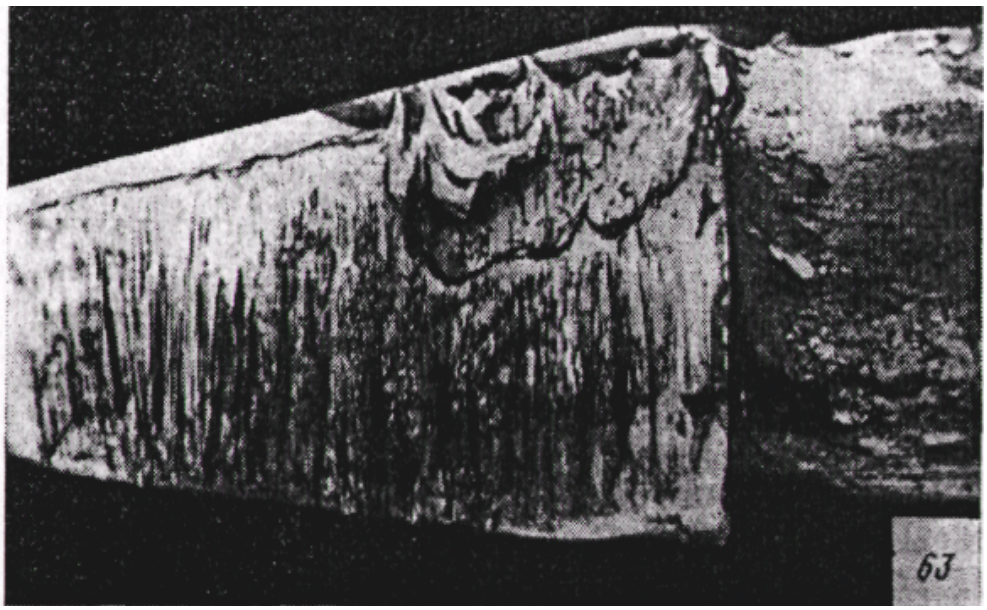


Рисунок 1.5 – Донний захід



Рисунок 1.6 – Рванини

Затягнута крайка (ДЕРЖСТАНДАРТ 21014—75), рис. 1.4. Одинична прямолінійна несплашність на вузькій грані сляба.

Основні ознаки дефекту. Тонка неглибока несплашність у поперечному перерізі дефекту, паралельна широким граням. Розташовується посередині товщини сляба і заповнена окалиною.

Причини утворення дефекту:

1. Порушення режиму обтиснень у горизонтальній і вертикальній клітях слябінга.

2. Нерівномірне зняття розширення при прокатці.

3. Нерівномірний прогрів злитка по перетині в колодязях.

Донний захід (рис. 1.5). Одна або дві несплашності на торці сляба з донної частини злитка, розташовані поблизу однієї з вузьких граней.

Причини утворення дефекту. Недостатній обріз заходів у донної частини сляба.

Рванини (ДЕРЖСТАНДАРТ 21014–75), рис. 1.6. Грубі рванини на широких гранях, що переходять на вузьку грань. Стінка рванини нагадує «гречану кашу».

Основні ознаки дефекту. Окислені границі зерен і тріщини по границях зерен (видні на нетравленому мікрошліфі).

Причини утворення дефекту. Порушення режиму нагрівання злитків, що приводять до окислювання металу по границях зерен.

Вкатання окалина і раковини (ДЕРЖСТАНДАРТ 21014—75), рис 1.7, а і б. На широких гранях слябів по всій поверхні або ділянками - вкатанна окалина або раковини від окалини, що випала.

Причини утворення дефекту:

1. Порушення режиму нагрівання злитків.

2. Незадовільне видалення окалини при прокатці.

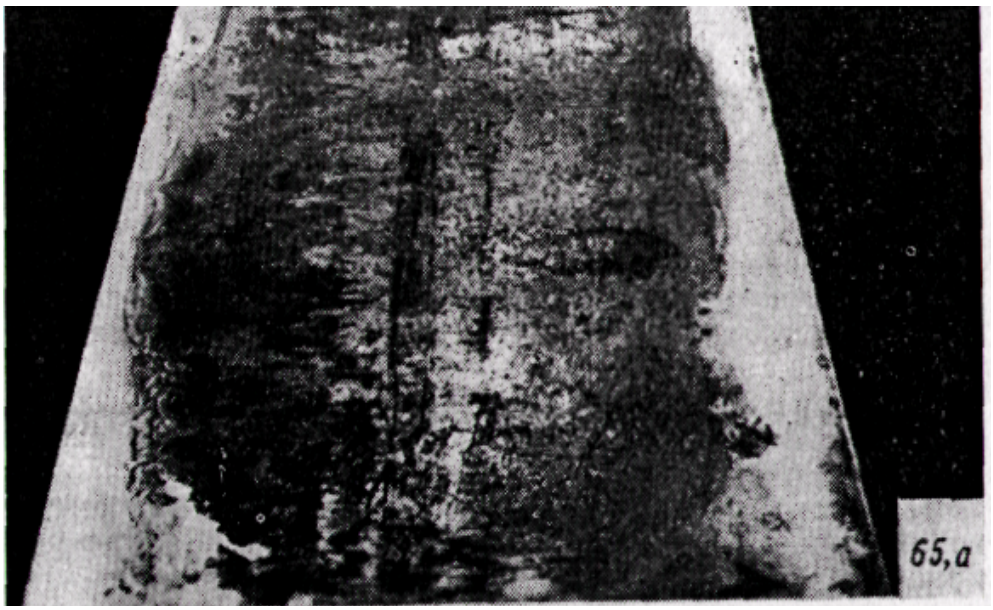
Прогин (рис. 1.8). Прогин сляба у вертикальній площині. Причини утворення дефекту:

1. Нерівномірне нагрівання злитка по перетині.

2. Неправильне складування гарячих слябів.

II. Спокійні й низьколеговані сталі

Дрібні V-образні рванини, на широких і вузьких гранях слябів (рис. 9, а і б). V-образні рванини, густо розташовані у вигляді луски по всій поверхні широких і вузьких граней.



а



б

Рисунок 1.7 – Раковини від вкатанної окалини

Основні ознаки дефекту. Ліквація сірки в місцях розташування підкіркових міхурів, що виявляє методом сірчаних відбитків по Бауману поблизу поверхні на вузьких і широких гранях. Ліквація фосфору, обумовлена реактивом Обергоффера.

При мікродослідженні видні несплашності, заповнені окалиною, у їхніх стінок спостерігаються значна обевглецевування і окислення - характерні ознаки газових міхурів.

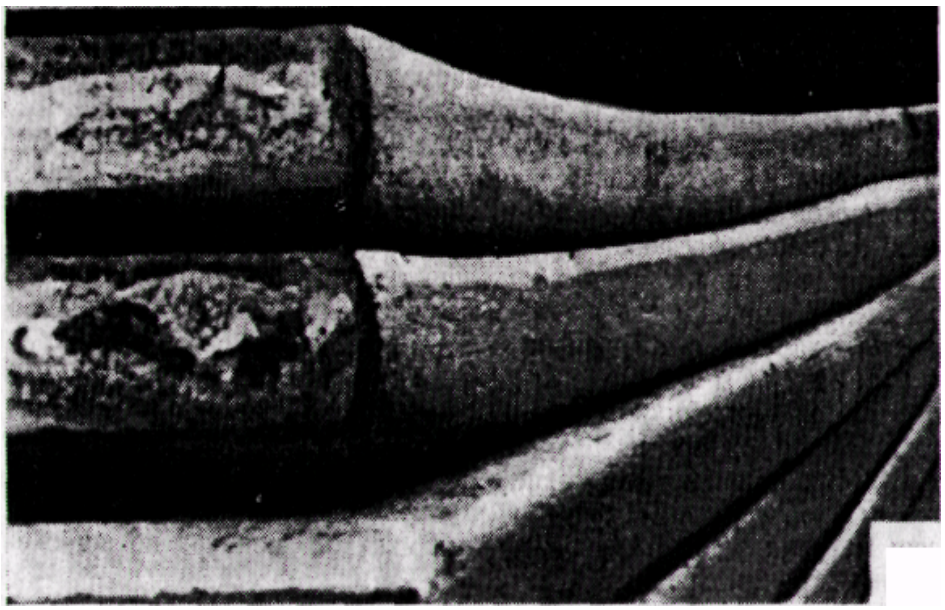


Рисунок 1.8 – Прогин

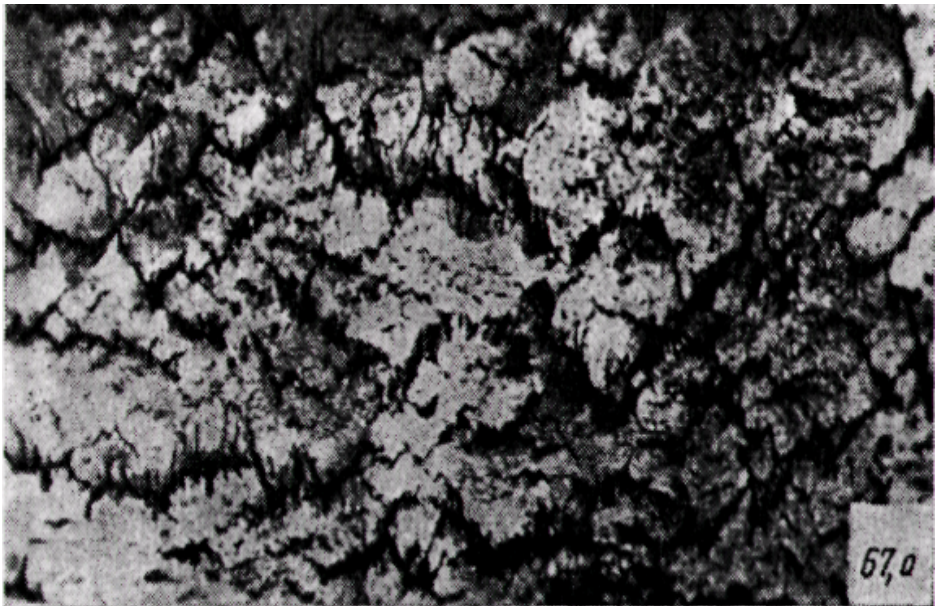


Рисунок 1.9 – Дрібні V-образні рванини на широких гранях слябів

Причини утворення дефекту:

1. Неякісне змащення ізложниці (підвищена в'язкість лаку, холодні ізложниці).

2. Підвищений зміст сірки в металі.

Плівки, викликані газовими міхурами (рис. 1.10, а і б). Відшарування металу у вигляді язиків, рідше замкнутого контуру по широких і вузьких гранях слябів.



Рисунок 1.10 – Дрібні V-образні рванини на вузьких гранях слябів

Основні ознаки дефекту. Ті ж, що і V-образних рванин.

Причини утворення дефекту:

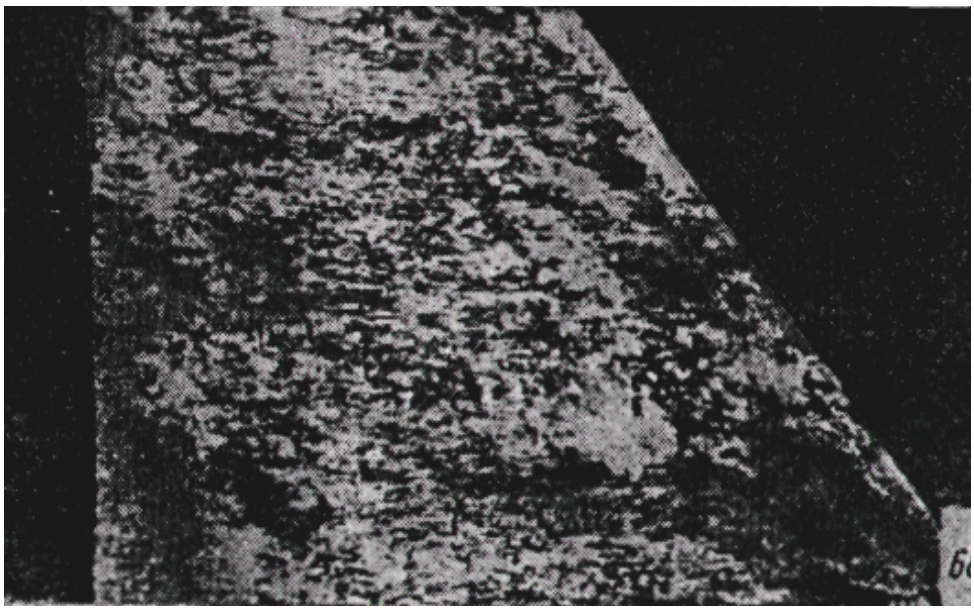
1. Неякісне змащення ізложниці.

2. Розливання металу зі зниженою температурою.

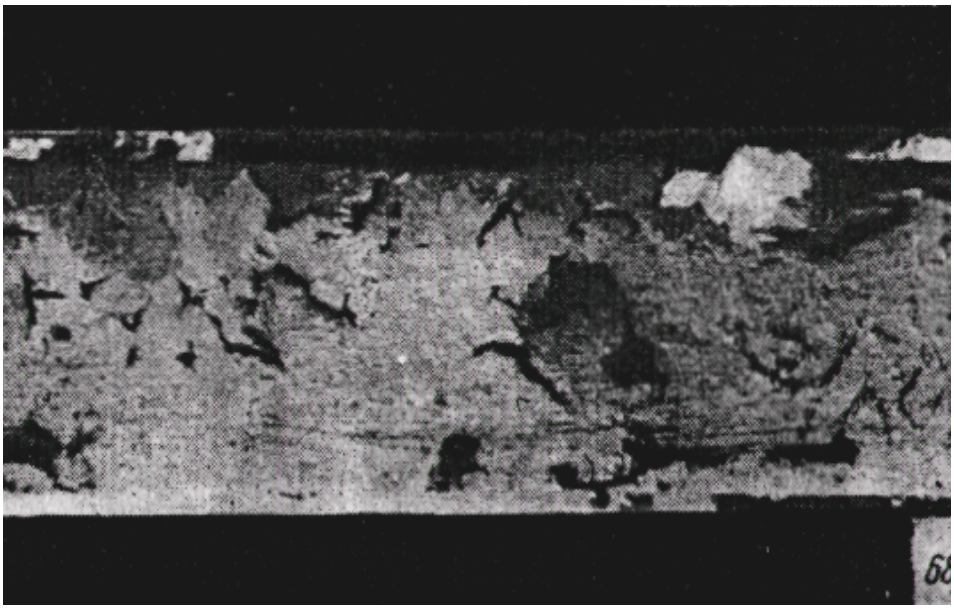
Розкатаний міхур (ДЕРЖСТАНДАРТ 20847–75), рис. 1.11. На бічних гранях тонкі волосини, суцільні або переривчасті, одиничні або, що йдуть у кілька рядів паралельно один одному.

Основні ознаки дефекту. Одиничні або розташовані в кілька рядів (по товщині) несплашності невеликої ширини різної глибини, спостережувані на макротемплеті, виготовленому по всій товщині сляба у вузької грані. При мікродослідженні виявляються ознаки, характерні для газових міхурів.

Причина утворення дефекту. Розкриті підкіркові міхури, викликані неякісним змащенням ізложниці.



а



б

Рисунок 1.11 – Плівки, викликані газовими міхурами

III. Низьколеговані і леговані сталі

Злиткові рванини (ДЕРЖСТАНДАРТ 21014–75), рис. 1.13. Грубі великі відшарування, що супроводжуються рванинами на ребрах; розташовуються по всій поверхні широких і вузьких граней.

Основні ознаки дефекту такі ж, як і дефекту «подворотов кірок».

Причина утворення дефекту. Великі сплески металу через переривчастою косою веєрообразного струменя при розливанні.

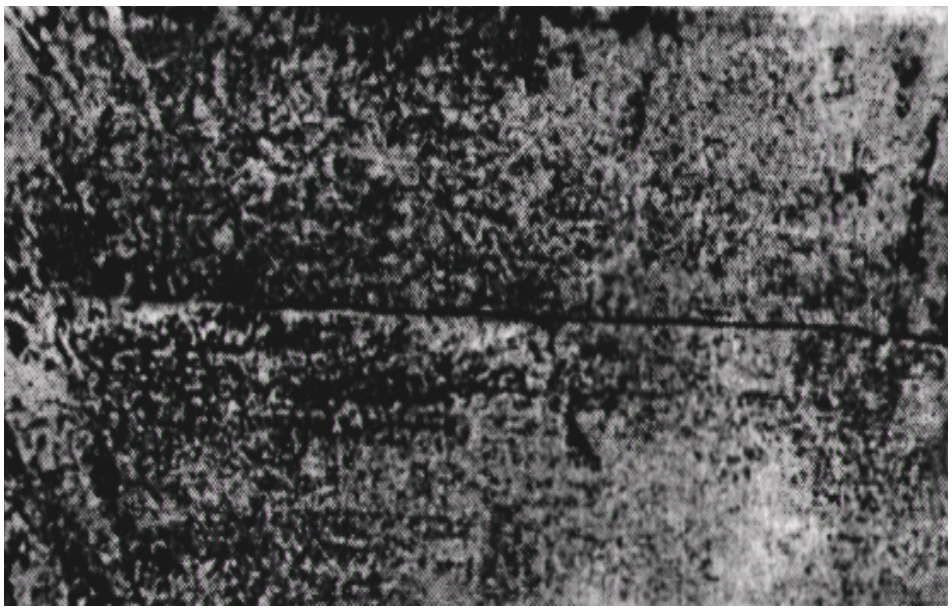


Рисунок 1.12 – Розкатаний міхур

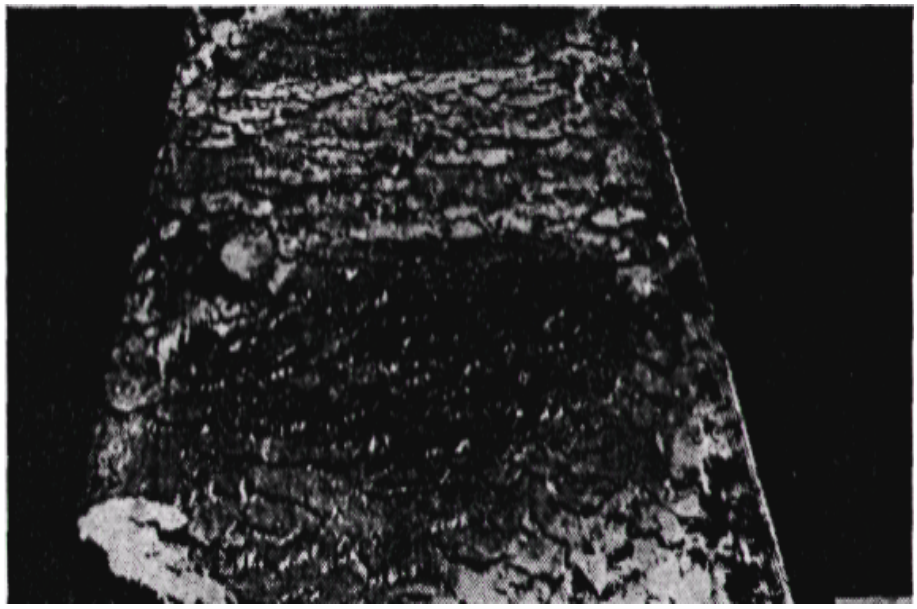


Рисунок 1.13 – Злиткові рванини

Дефекти на гарячекатаних рулонах і листах

Розшарування (ДЕРЖСТАНДАРТ 21014–75), рис. 1.14. Тонкі волосні тріщини на бічній крайці смуги, суцільні або переривчасті.

Основні ознаки дефекту, ті ж, що і для газових міхурів.

Причини утворення дефекту. підкіркові міхури, що не зварилися, викликані або дефектами структури коркової зони злитка (капілярні канали), або перегрівом і оплавленням злитків.

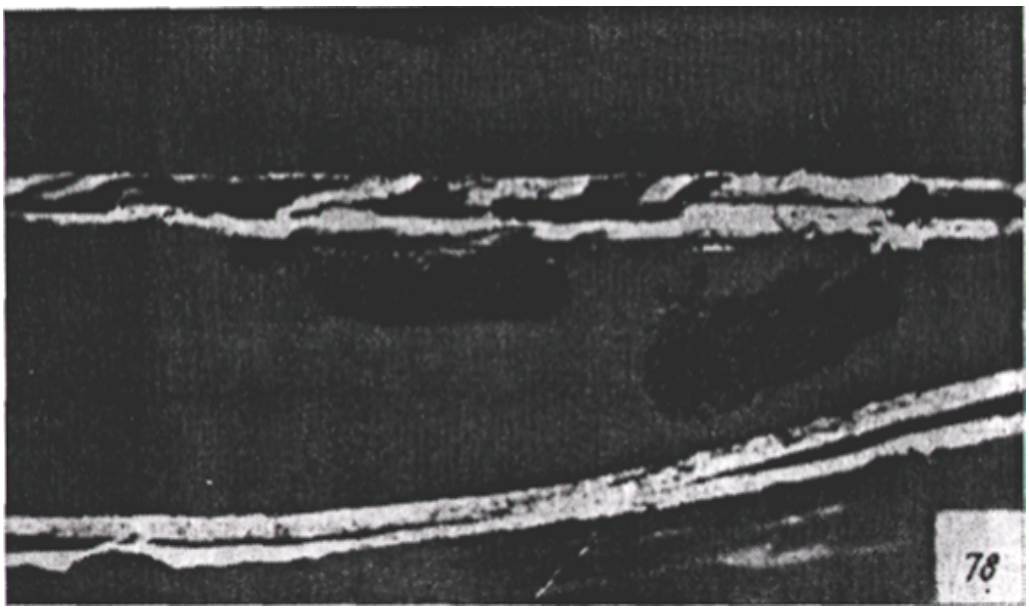


Рисунок 1.14 – Розшарування

Рвана крайка (ДЕРЖСТАНДАРТ 21014–75), рис. 1.15. Дрібні і грубі розриви металу по крайках смуги.

Основні ознаки дефекту ті ж, що і для окислених газових міхурів або перевитрати.

Причини утворення дефекту:

1. газові міхури, що не заварилися, що розкрили при нагріванні злитків через оплавлення злитків, близького розташування міхурів до поверхні злитка, порушення встановлених сумарних реброві обтиснень при прокатці злитків.

2. Знижений зміст марганцю і підвищений зміст сірки в сталі. Відношення Mn: S<12-14.

3. Перевитрата.

Наскрізні розриви (ДЕРЖСТАНДАРТ 21014–75), рис. 1.16. Розриви на поверхні смуги.

Причини утворення дефекту. Наявність у смузі усадочної рихлості, глибоких плівок або раковин від них, які при прокатці викликають порушення сплашності металу.

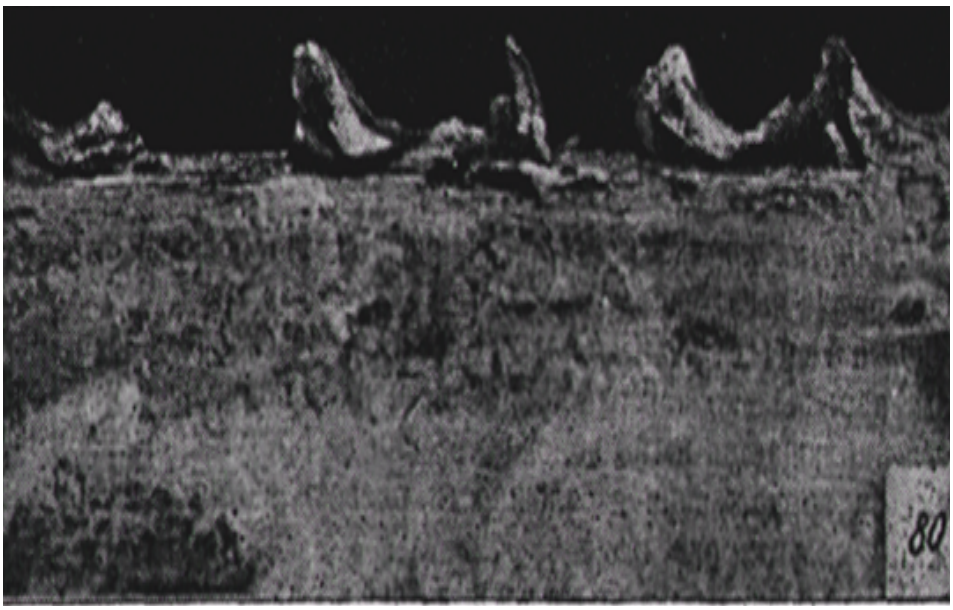


Рисунок 1.15 – Рвана крайка



Рисунок 1.16 – Наскрізні розриви

Затягнута крайка (21014–75), рис. 1.17. На бічній крайці смуги пряма несплашність.

Основні причини дефекту. Розташування несплашності паралельно поверхні смуги, на макрошліфі в несплашності спостерігається вигин волокон: стінки її зневуглецьовані і окислені, на продовженні несплашності розгалужуються феритні доріжки із дрібними окислами.

Причини утворення дефекту:

1. Прокатка слябів із заходом.

2. Зачищення дефектів на бічній крайці слябів па глибину, що перевищує припустиму.

3. «Вибій» крайок слябів при видачі з методичних печей. Захід на широкій грані. Тонка несплашність (тріщина) на поверхні смуги.

Основні ознаки дефекту. Розташування несплашності під деяким кутом до поверхні смуги. Інші ознаки ті ж, що й у випадку заходу на бічній крайці.

Причина утворення дефекту. Вихід розкату за межі бочки валків при прокатці через незадовільне центрування.

Залишки окалини (ДЕРЖСТАНДАРТ 20847–75), рис. 1.18. Скупчення чорних крапок і невеликих плям по поверхні смуги; плями неправильної форми, різних кольорів, орієнтовані рядками уздовж напрямку прокатки.

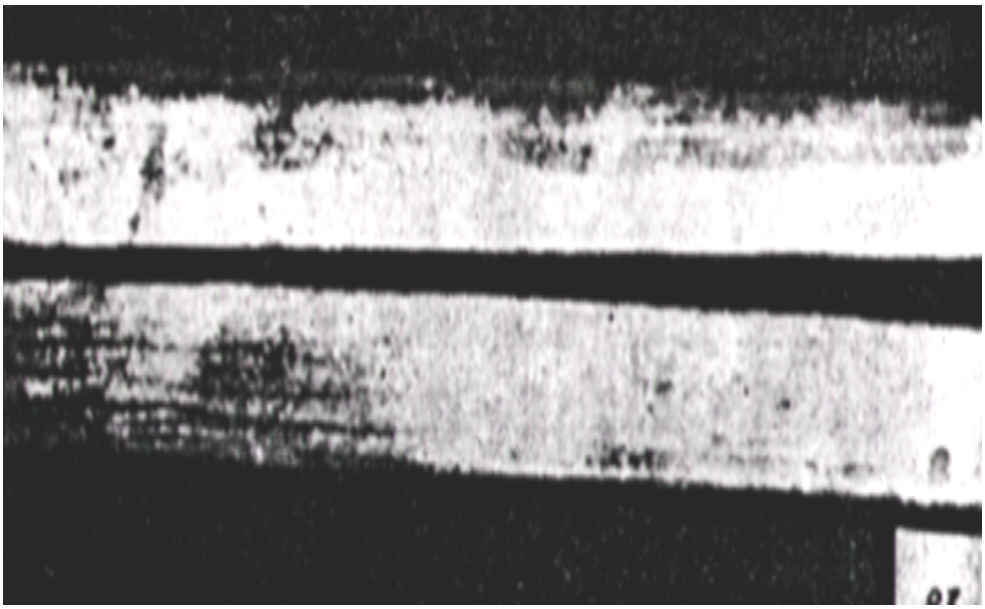


Рис. 1.17 – Затягнута крайка

Основні ознаки дефекту. Товщина шаруючи окалини в дефектному місці більше, ніж на здоровій поверхні. Дно дефекту рельєфне.

Причини утворення дефекту:

1. Порушення режиму нагрівання слябів у методичних печах (тривале перебування, висока температура і т.д.).

2. Незадовільний стан поверхні робочих валків.

3. Незадовільна робота гідрозбиву окалини (низький тиск води, засмічення і зношування каналів сопел та ін,).



Рисунок 1.18 – Залишки окалини

Коробчатість (ДЕРЖСТАНДАРТ 21014–75). Кривизна листа в поздовжньому і поперечному напрямках (одночасна наявність поздовжніх і поперечних хвиль).

Причини утворення дефекту. Нерівномірність деформації по ширині смуги, що виникає внаслідок:

а) незадовільної геометрії підкату;

б) незадовільного профілювання валків;

в) нерівномірності охолодження (розігріву) бочки валків.

Хвилястість крайки (ДЕРЖСТАНДАРТ 21014–75). Чергування гребенів і западин (хвиль), що розташовуються з однієї сторони або із двох сторін по крайках смуги.

Причини утворення дефекту:

1. Прокатка широких смуг після вузьких, тобто порушення регламенту прокатки по ширині.

2. Зношування валків.

3. Незадовільне профілювання валків.

4. Нерівномірний розігрів бочки валків.

Серповидність (ДЕРЖСТАНДАРТ 21014–75). Смуга має дугоподібну форму або загнуті передній або задній кінці.

Причини утворення дефекту:

1. Нерівномірне нагрівання слябів.

2. Неправильна установка валків у вертикальній площині.

3. Неправильна установка напрямних лінійок.

Різнотовщиність слябів по ширині більше 2 мм.

Поздовжня, поперечна різнотовщиність (21014–75).

Різнотовщиність смуги в поздовжньому і поперечному напрямках.

Причини утворення дефекту:

1. Прокатка на вироблених валках.

2. Невідповідність профілювання валків умовам прокатки смуг.

3. Нерівномірність обтиснень при прокатці й неправильному настроюванні стана.

4. Нерівномірне нагрівання слябів.

5. Більша різнотовшиність слябів.

Тонкі (товсті) смуги. Смуга має товщину, більшу або меншу в порівнянні із заданої.

Причини утворення дефекту:

1. Неправильне настроювання стана.

2. Нерівномірне нагрівання сляба.

Вузькі (широкі) смуги. Смуга має ширину, меншу або більшу в порівнянні із заданої.

Причини утворення дефекту:

1. Неправильне настроювання стана.

2. Прокатка вузьких (широких) слябів.

3. Недотримання режиму натягу в безперервній групі клітей.

Короткі (довгі) листи. Довжина аркушів менше або більше заданої.

Причини утворень дефекту:

1. Неправильне настроювання летучих ножиців агрегату порізу.

2. Поріз гарячих смуг з допуском для холодних (короткі).

3. Поріз холодних смуг з допуском для гарячих (довгі).

Телескопічний рулон (ДЕРЖСТАНДАРТ 21014—75), рис. 1.18:

1. Кілька внутрішніх, середніх або зовнішніх витків виступають над іншими.

2. Телескопічність у вигляді «тарілки».

3.Пірамидообразний телескоп.

Причини утворення дефекту:

1. Серповидність переднього кінця смуги.

2. Погана прив'язка смуги до барабана моталки через більші зазори між формуючими роликами й барабаном.

3. Перекошено формуючі ролики моталки.

4. Більший виробіток (більше 2 мм) формуючих роликів і барабана моталки.

5. Серповидність заднього кінця смуги.

6. Перекіс тягнучих роликів.

7.Великий тиск у циліндрах формуючих роликів.

Рулон зі складками (ДЕРЖСТАНДАРТ 21014—75), рис. 1.19. Подвійні і потрійні складки на змотаній у рулон смузі.

Причини утворення дефекту:

1. Наявність заклинених роликів на рольгангу, що відводить.

2. Невідповідність швидкостей секцій рольганга, моталки, натяжних роликів і робочих валків чистової кліті.

Завал крайки. Закруглення краю крайки.

Причини утворення дефекту:

1. Великий зазор між ножами.

2. Тупі ножі дискових ножиців.

Заусенець (ДЕРЖСТАНДАРТ 21014—75). Тонкі, зрушені по лінії різа пластинки металу голчастої форми.

Причини утворення дефекту:

1. Поріз смуг тупими ножами.

2. Великий зазор між ножами.

3. Неправильне настроювання ножів дискових ножиців.

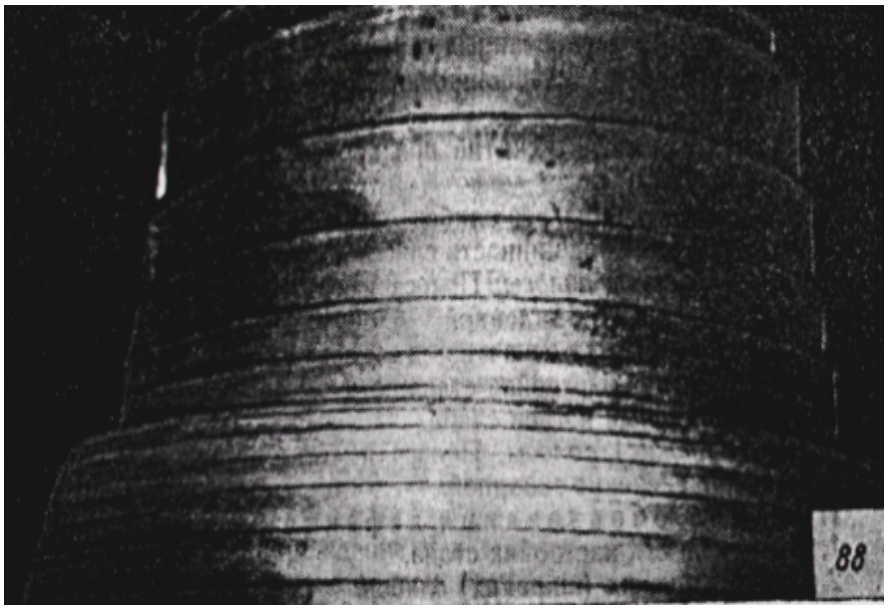


Рисунок 1.19 – Телескопічний рулон

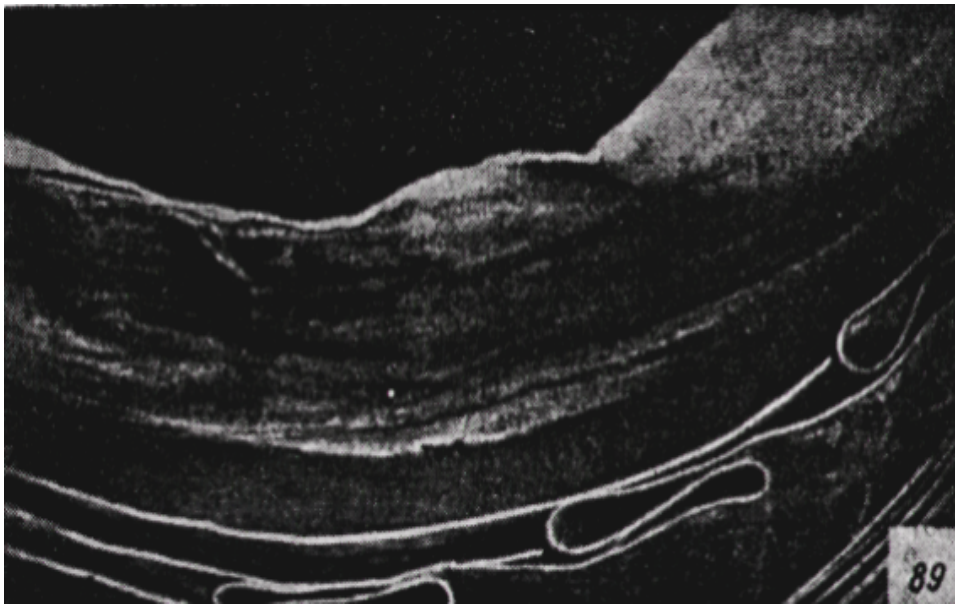


Рисунок 1.20 – Рулон зі складками

1.3 Аналіз причин та методів усунення браку

Вітчизняний і закордонний досвід свідчить [11-14], що точність, якість поверхні і властивості холоднокатаного прокату, а також техніко-економічні показники роботи станів холодної прокатки, залежать, насамперед, від відповідних параметрів гарячекатаного підкату. Наприклад [15], установлено, що перекручування (дефекти форми) поперечного профілю гарячекатаного підкату впливає на площинність холоднокатаних смуг і ефективність процесу холодної прокатки. Однак даних про точність і дефекти форми поперечного профілю гарячекатаного підкату, причинах виникнення і їхнього впливу на площинність холоднокатаних смуг украй мало. Крім того, ці дані мають в основному якісний характер і не дозволяють сформулювати вимоги до точності поперечного профілю гарячекатаного підкату, що забезпечують одержання холоднокатаних смуг з гарною площинністю.

У діючих стандартах і технічних умовах [16-20] на смуговий прокат, у тому числі і на гарячекатаний підкат, як характеристика точності поперечного профілю прийнята поперечна різнотовшиність δh, обумовлена як різниця між найбільшим і найменшим значеннями товщини, обмірюваними в одному поперечному перерізі. При цьому звичайно припускають [21], що поперечний профіль гарячекатаного підкату є двоопуклим і симетричним щодо поздовжньої осі (рис. 1.20). У зв'язку із цим, про поперечну різнотовщиність підкату судять за результатами вимірів товщини уздовж ширини в трьох, іноді в п'ятьох крапках, за винятком утонених прикромочних ділянок шириною по 40-50 мм із кожної сторони:

$$\delta h = h_{ср} - h_{к} , \qquad (1.1)$$

де $h_{ср}$, $h_{к}$ – товщина середньої частини і крайок поперечного профілю підкату.

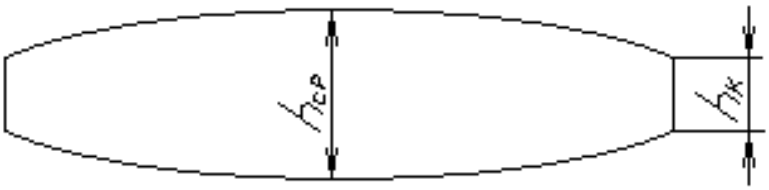


Рисунок 1.21 – Ідеальний поперечний профіль гарячекатаного підкату

По технологічних міркуваннях така форма поперечного переріза підкату (рис. 21) є ідеальної, оскільки моменти, створювані поперечними силами тертя в процесі холодної прокатки врівноважуються, що забезпечує поперечну стійкість смуги і попереджає або мінімізує її поперечний вигин. Однак одержання гарячекатаного підкату з таким поперечним профілем надзвичайно важко або практично неможливо [22-24].

У реальних умовах [25] прокатки поперечний профіль гарячекатаного підкату формується як підсумок спільного впливу пружних деформацій валкового вузла, вихідної опуклості (увігнутості) утворюючих і зношування бочок робочих і опорних валків, розподілу температури по довжині бочок робочих і опорних валків, форми поперечного переріза сляба й температурного поля останнього, настроювання широкополосного стана, зсуву поздовжньої осі розкату (смуги) від осі стана, розподілу напруг натягу і температури по ширині розкату (смуги) у лінії стана і т.д. на профіль активних утворюючих робочих валків. Тому зміна товщини смуги в поперечному напрямку, тобто форма поперечного профілю гарячекатаного підкату має стохастичний характер і істотно відрізняється від форми поперечного профілю, показаного на рис. 20.

Крім того, значною нестабільністю по ширині гарячекатаного підкату відрізняються хімічний склад, структура, механічні властивості й шорсткість поверхні. Зміна перерахованих параметрів має багато в чому також імовірнісний характер, хоча це питання вимагає додаткового дослідження.

У роботі [26] для одержання даних про точність і дефекти форми поперечного профілю гарячекатаного підкату, що прокатують на безперервному широкополосному стані 1680 ПАТ "Запоріжсталь" у лініях агрегатів травлення були відібрані темплети від середньої частини, переднього і заднього кінців рулонів. Товщину темплетів вимірювали двома методами – стаціонарним записуючої товщиноміром з точністю ±0,003 мм і ручним мікрометром з точністю ±0,01 мм. В останньому випадку товщину темплетів вимірювали через кожні 10 мм ширини, причому в кожній крапці робили по 2-3 виміру. Дані вимірів усереднялись і надалі минулому використані для побудови поперечного профілю гарячекатаного підкату.

Аналогічним образом, з тих же рулонів гарячекатаного підкату відбирали темплети для виміру поперечного профілю холоднокатаних смуг і жерсті. Товщину жерсті й тонких смуг ($h < 0,5$ мм) вимірювали ізотопним записуючої товщиноміром FMM-24024 з точністю ± 0,0001 мм. За отриманим даними судили про точність поперечного профілю холоднокатаних смуг і жерсті і обчислювали значення сумарного коефіцієнта витяжки $\mu\sum$ і коефіцієнта вирівнювання поперечної різнотовщиності:

$$k_в = (\delta h / h) / (\delta h_{хп} / h_{хп}), \qquad (1.2)$$

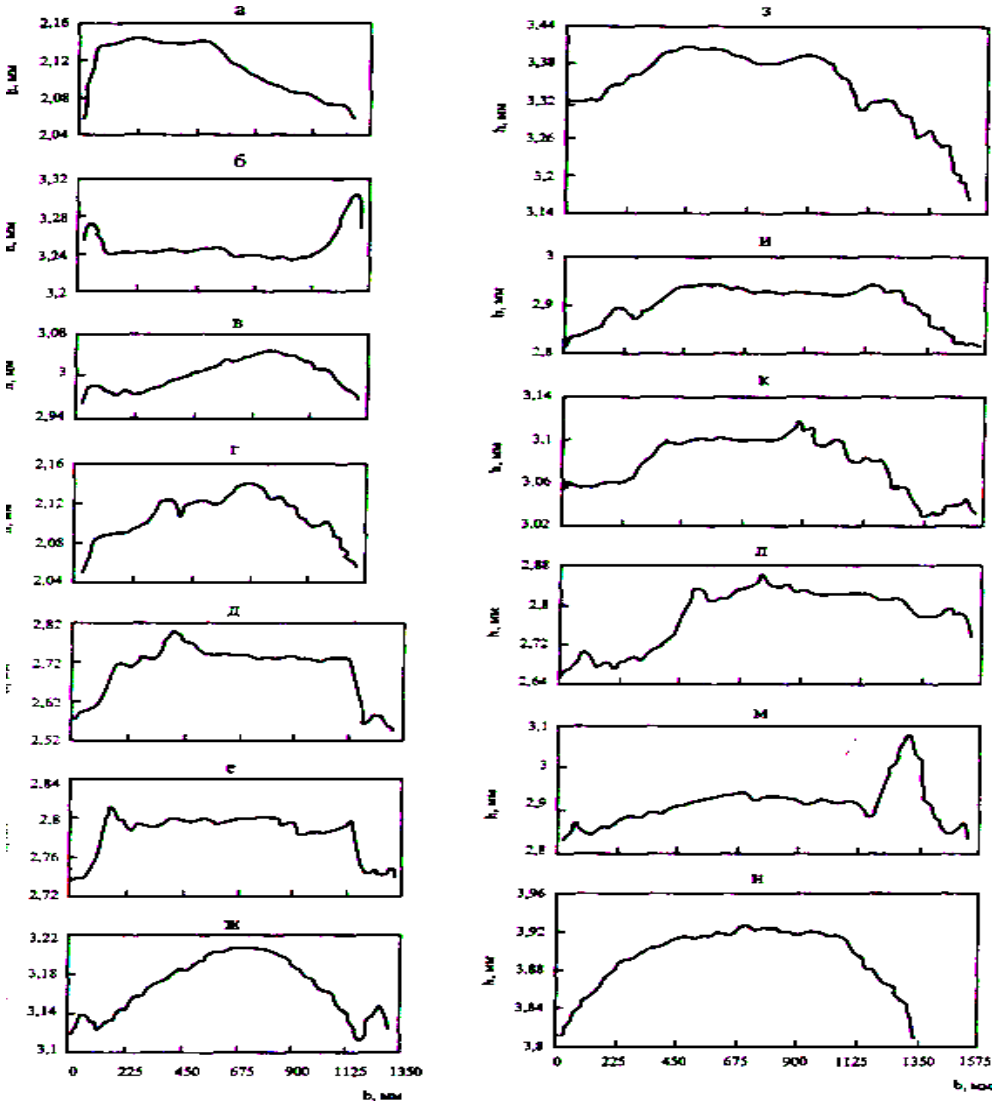
де h, δh, $h_{хп}$, $\delta h_{хп}$ – товщина і поперечна різнотовшиність гарячекатаного підкату й холоднокатаної смуги відповідно.

Крім того, на тих же рулонах гарячекатаного підкату досліджували вплив точності й дефектів форми поперечного профілю останніх на планшетність холоднокатаних смуг (жерсті) і визначали види неплщинності.

У ході досліджень було встановлено, що форма поперечного профілю й величина відносної поперечної різнотовщиності гарячекатаного підкату й холодних смуг (жерсті) по довжині рулону є практично однаковими. Тому надалі про точність і дефекти форми поперечного профілю судили за

результатами вимірів товщини темплетів, відібраних тільки від кінців рулонів.

На рис. 1.22 представлені найбільш характерні поперечні профілі гарячекатаного підкату з маловуглецевої сталі, що прокатується на широкополосному стані 1680 комбінату "Запоріжсталь".



а - 2,0х1040 мм (сталь 08кп); б - 3,0х1030 мм (сталь 10пс); в - 3,0х1030 мм (сталь 08ю); г - 2,0х1030 мм (сталь 08пс); д - 2,7х1250мм (сталь 08кп); е - 2,7х1250 мм (сталь 20кп); ж - 3,0х1270 мм (сталь 08пс); з - 3,0х1440 мм (сталь 10кп); і - 2,7х1485 мм (сталь 08кп); к - 3,0х1500 мм (сталь 08ю); л - 2,7х1520 мм (сталь 08ю); м - 3,0х1520 мм (сталь 08кп); н - 3,9х1350 мм (сталь 15пс)

Рисунок 1.22 – Поперечні профілі гарячекатаного підкату, що прокатують на безперервному широкополосному стані 1680

Аналіз отриманих експериментальних даних дозволяє відзначити наступне [27-29]:

1. Гарячекатаний підкат в основному відповідає вимогам діючих на комбінаті технічних умов. Однак поперечні профілі підкату завжди асиметричні або клиновидні й у більшості випадків характеризуються значними локальними перепадами товщини по ширині, тобто мають істотні дефекти форми. При цьому зміна товщини в поперечному напрямку або форма поперечного профілю підкату має випадковий характер.

2. Основними дефектами форми поперечного профілю щодо вузького (900-1100 мм) підкату є клиновидність (рис. 1.22, а), стовщення прикромочних ділянок (рис. 1.22, б) і асиметричність (рис. 1.22, в, г) з локальними стовщеннями або стоншеннями. Поперечні профілі підкату середньої ширини (1200-1300 мм) мають, як правило, локальні утонення (рис. 1.22, д, е) або стовщення (рис. 1.22, ж) прикромочних ділянок і значну асиметричність. Такі дефекти характерні і для широкого (1400-1500 мм) підкату (рис. 1.22, з, і, к, л, м). Тільки в цьому випадку асиметричність (рис. 1.22, з, л, м) поперечних профілів зростає, а величина локальних утонень (стовщень) (рис. 1.22, л, м) досягає 0.15-0,16 мм. Зафіксовані також профілі (рис. 1.22, з) зі значної клиновидністью, асиметричністю і поперечної різнотовшиністю (δh = 0,25 мм). Підкат із прийнятною формою поперечного перерізa показаний на рис. 1.22, н.

3. Дефекти форми поперечного профілю підкату є наслідком порушення послідовності (порядку) прокатки смуг різної ширини на широкополосному стані гарячої прокатки 1680 (рис. 1.22, б, д, е, ж, і), надмірного локального виробітку (зношування) робочих валків (рис. 1.22, г, д, ж, з, к, л, м), клиновидності сляба (розкату), "температурного клина" по ширині сляба (розкату) і (або) неточного настроювання валків чистових клітей стана (рис. 1.22, а, з, л), а також наслідком спільного впливу названих причин.

4. Величина поперечної різнотовщинності гарячекатаного підкату δh звичайно становить 0,06-0,12 мм. Разом з тим на підкаті шириною більше 1200 мм зі значної асиметричністю (рис. 1.22, д), клиновидністю (рис. 1.22, з), з локальними утоненнями (рис. 1.22, л) або стовщеннями (рис. 1.22, м) поперечна різнотовщиність досягає 0,20-0,25 мм і більше, що перевищує граничні значення, зазначені в технічних умовах.

5. Установлено [30], що не абсолютна величина поперечної різнотовщиності, а дефекти форми поперечного профілю гарячекатаного підкату служать основною причиною появи неплощинності при холодній прокатці. Тому поперечна різнотовщиність повинна розглядатися тільки в якості однієї з необхідних характеристик точності поперечного профілю гарячекатаного підкату. Дефекти форми поперечного профілю підкату викликають значну нерівномірність деформації при холодній прокатці, як по ширині, так і по товщині смуги. Це приводить до появи залишкових напруг у смузі. Коли величина залишкових напруг, точніше, коли величина потенційної енергії залишкових напруг досягне певного (критичного) рівня, що залежить від розмірів поперечного переріза, механічних і пружних властивостей матеріалу смуги, остання втрачає стійкість, тобто стає неплоскою.

Доказом того, що реальний процес прокатки нестабільний, є точні показання комп'ютерної системи «ІВА» [31] яка розраховує всю необхідну інформацію із чистової групи клітей у реальному часі. А саме: крутний момент на двигунах приводної частини клітей (зусилля прокатки); число обертів двигунах приводної частини клітей за одиницю часу (реальна швидкість прокатки); задає швидкість прокатки оператором чистової групи клітей; струм на двигуні й т.д.

Ці показання комп'ютерна система «ІВА» зчитує, аналізуючи зміни енергосилових параметрів на електропідстанції ЕП-1.

Нестабільність процесу визначається дефектами поздовжньої й поперечної форм перетину прокату температури, що утворяться в результаті нерівномірного розподілу.

Основними причинами, що викликають поздовжню різнотовщиність смуг, є нерівномірний розподіл температури по довжині розкату (більше холодні кінці розкатів). Температура падає від переднього кінця смуги до заднього, причому інтенсивність падіння заднього кінця більше. Це є наслідком його більшої тривалості знаходження в прокатному стані. На рис. 1.23 показана зміна температури по довжині смуг зі сталі 08пс розміром 2,6х1250 (плавка № 1225227 C=00,7 Mn=0,38 «подвійні»), записане фотоелектричним пірометром, установленим за останньою кліттю стана 1680.

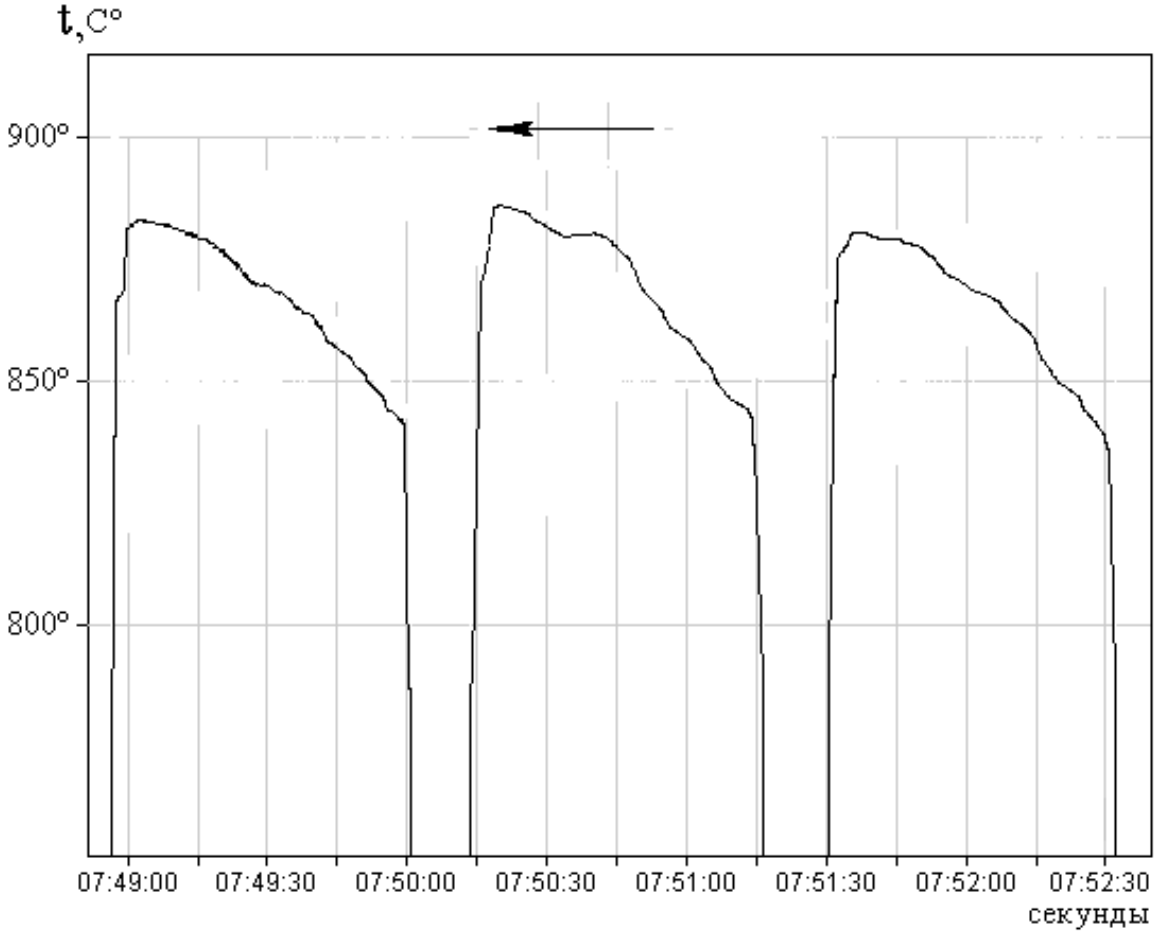


Рисунок 1.22 – Зміна температури смуги по довжині (сталь 08пс; стрілкою показаний напрямок прокатки)

З рис. 1.23 видно, що розкат остигає в міру його перебування в стані. Передня частина смуги («голова») перебуває менше часу процесі прокатки, а задня («хвіст») – більше, через що й відбувається «температурний клин». Різниця за часом знаходження в стані «хвоста» і «голови» становить 64 секунди, за цей час задня частина розкату встигає понизити свою температуру на $\Delta t = 50°C$. Швидкість спаду температури розкату прямо пропорційна його товщині, зі зменшенням якої кут нахилу «температурного клина» збільшується.

За допомогою системи «IBA» для тих же смуг переглянемо зміни крутного моменту на двигуні кліті № 7 (зусилля прокатки) показаного у відсотковому відношенні від номінального крутного моменту на двигуні рівного 196 кн м (див. рис. 1.24).

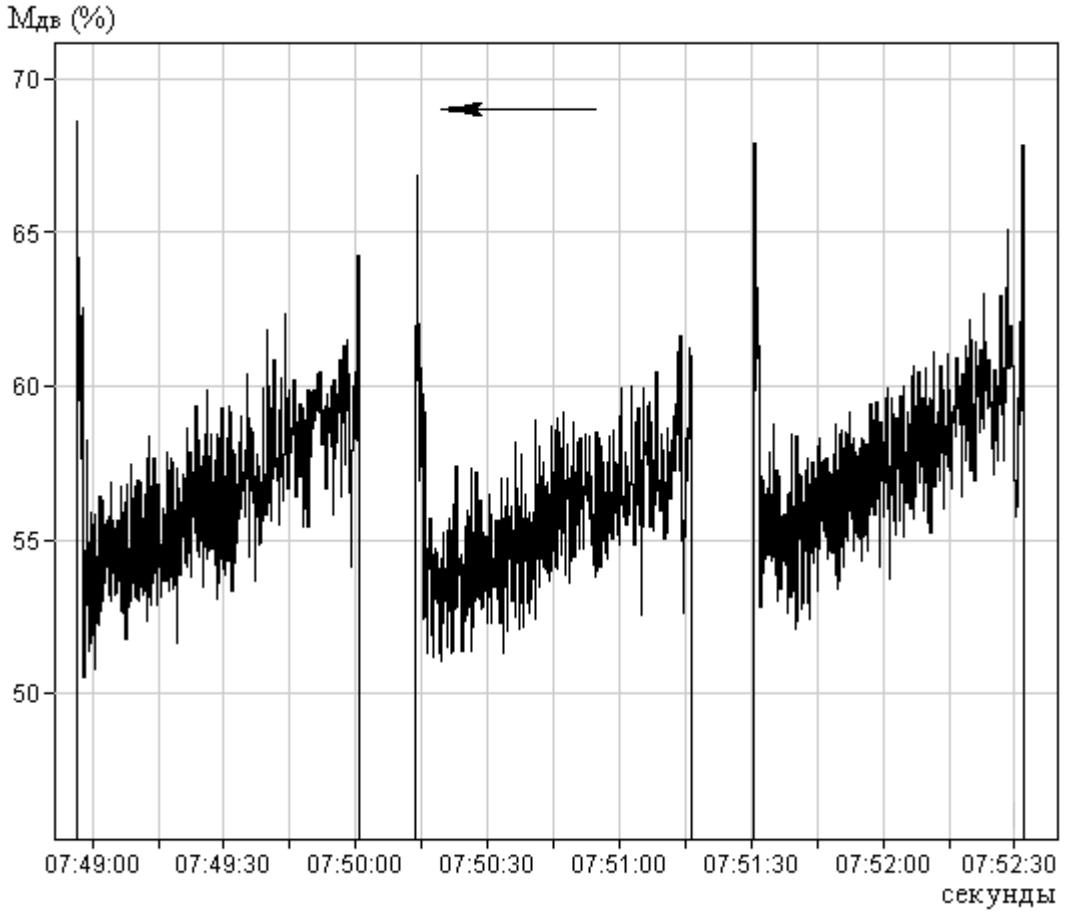


Рисунок 1.24 – Зміна крутного моменту на двигуні по довжині смуги (сталь 08пс; стрілкою показаний напрямок прокатки)

Первісний перегонів навантаження викликаний різкою динамікою захвата смуги робочими валками, потім навантаження наростає до свого піка й падає з виходом смуги із кліті.

Таке значне збільшення крутного моменту (ΔМдв= 7-8 %) є наслідком зменшення температури по довжині розкату.

Дефекти перетину поперечного профілю є наслідком не тільки зношування формотворної поверхні валків, а скоріше змінної пластичності металу остиглого нерівномірно. Відомо, що зі зниженням температури металу, що прокатується на 100^0 С коефіцієнт пластичності збільшується на порядок, а отже, зростають енергосилові витрати на деформацію металу.

2 ОБҐРУНТУВАННЯ ЗАДАЧІ ТА МЕТОДИКИ ДОСЛІДЖЕННЯ

З вищесказаного треба, що саме стабілізація температури, її вирівнювання по всій поверхні розкату дозволять нормалізувати процес прокатки і одержувати на виході з виробничого циклу готовий виріб з мінімальним відсотком браку. Можливість одержання рівномірного розподілу температури по всій поверхні розкату утрудняється тим, що після свого первісного нагрівання пройдено біля десятка формотворних операцій і пройшло більше 10 хвилин.

Для більше докладного ознайомлення з розподілом температури по поверхні штаби, що прокатується були проаналізовані показання (див. рис. 2.1), записані фотоелектричним пірометром, установленим за останньою кліттю стана 1680 для смуги зі сталі 08пс розміром 2,6х1250 (плавка № 1225227 С=00,7 Mn=0,38 «подвійна»).

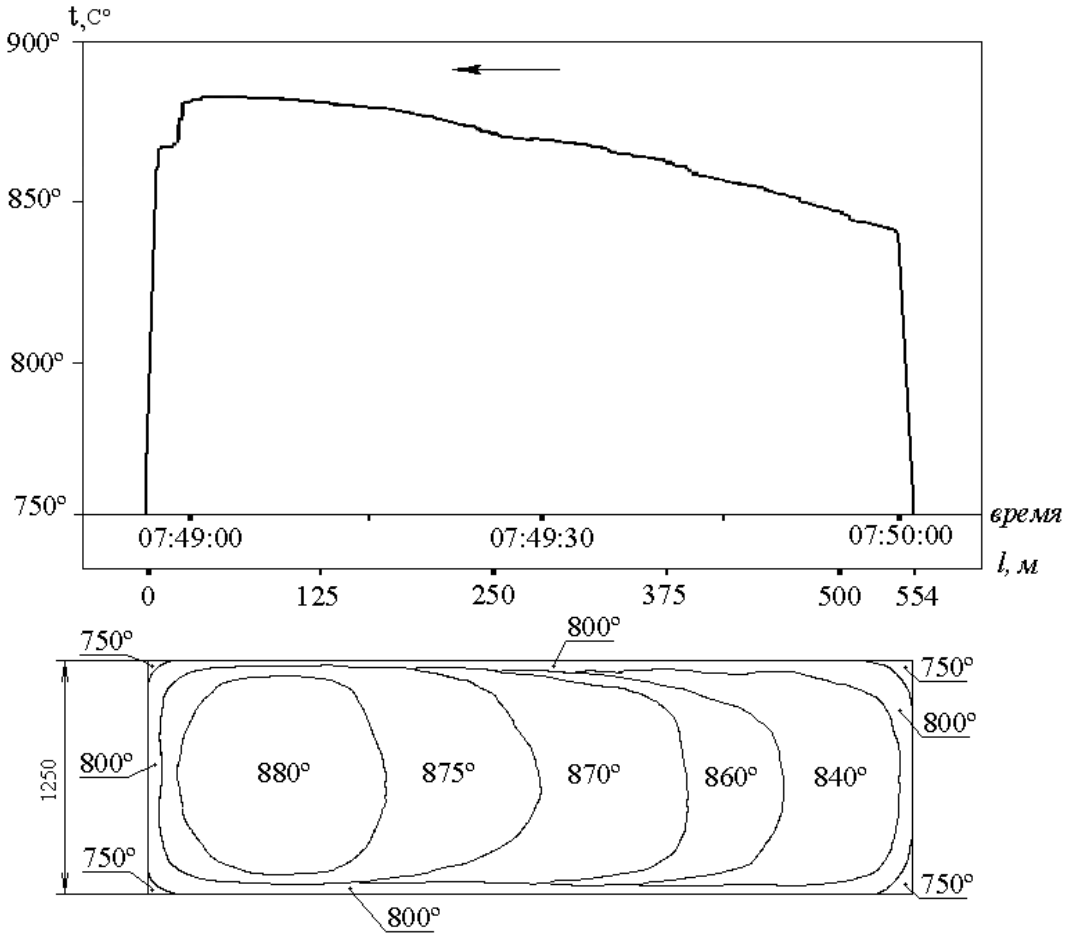


Рисунок 2.1 – Розподіл температури по поверхні штаби

Наведена на рис. 2.1 діаграма показала, що розподіл температури по поверхні нерівномірне: більше теплі ділянки утворюються в передній частині смуги; температура поступово знижується з наближенням кінцевої частини; значна різниця температур спостерігається між периметром і внутрішнім ділянками (Δt = 80°C); різко занижена температура на кутах смуги (Δt = 130°C). Отже, при такому резонансі температур на кожній з ділянок метал має різний коефіцієнт пластичної деформації, від сюди формотворна поверхня бочки робочого валка буде деформуватися не по циклоїді (див. мал. 1.21, н), а хаотичними кривими (див. рис. 1.21, б, ж, м).

З огляду на існування обернено пропорційної залежності часу прокатки від температури розкату на чистовій групі клітей стана 1680 був успішно проведений експеримент вирівнювання температури шляхом більше швидкої прокатки середини і кінця розкату.

Сутність експерименту полягає в тім, що для одержання рівномірної температури по всій довжині розкату необхідно постійно підвищувати швидкість прокатки від головної до хвостової частини. Таким чином, швидкість прокатки заднього кінця розкату перевищить швидкість переднього, котрий уже вийшов із чистової групи клітей.

Для проведення досліджень використався прокат зі сталі 08пс розміром 2,6х1250 (плавка № 1225227 С=00,7 Mn=0,38 «подвійні»), тому що він прокатується в чистовій групі клітей довше інших (більше однієї хвилини). У ході експерименту встановлено: підвищення швидкості прокатки від головної до кінцевої частин розкату сприяє стабілізації температури по довжині розкату.

На рис. 2.2 показана зміна крутного моменту і швидкості прокатки по довжині смуги, записані комп'ютерною системою «ІВА». Для фіксування розподілу температури по довжині смуги (див. рис. 2.3) використаний фотоелектричний пірометр установлений за десятою кліттю чистової групи.

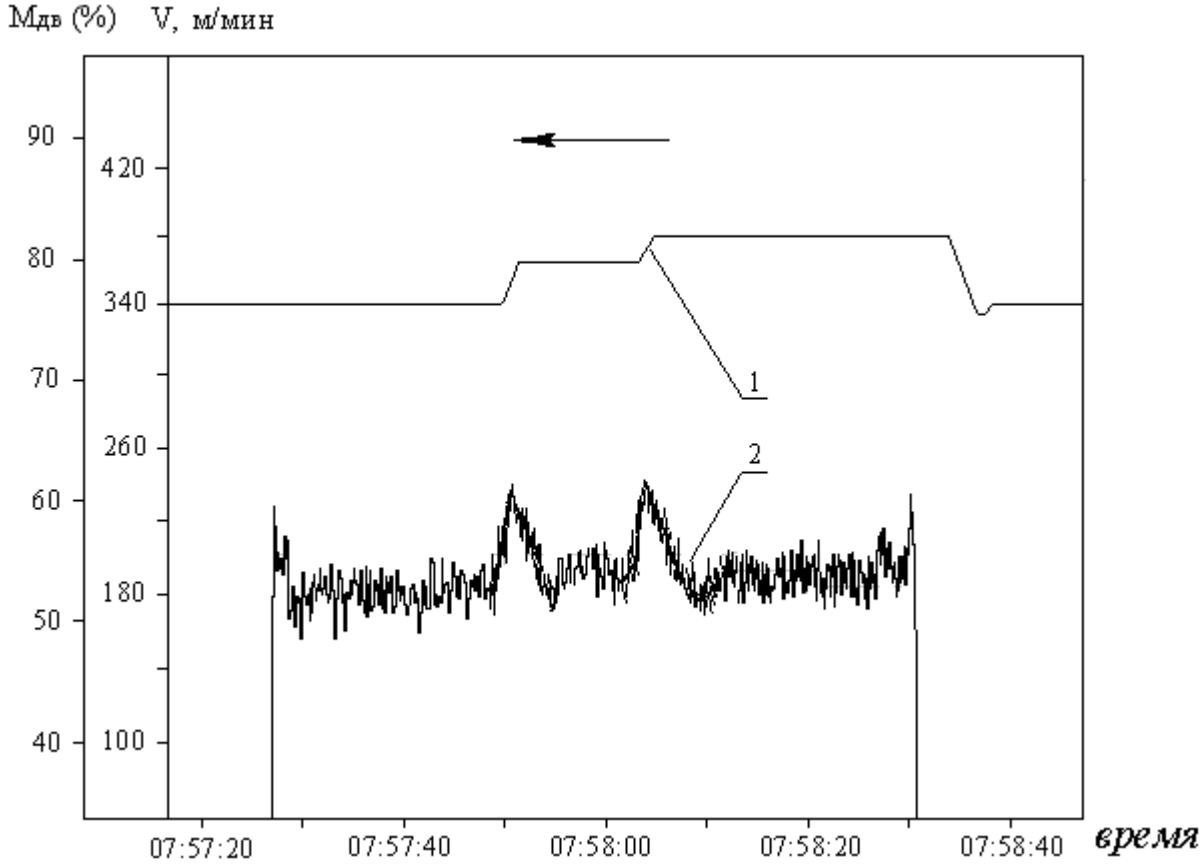


Рисунок 2.2 – Зміна крутного моменту й швидкості прокатки по довжині смуги (сталь 08пс; стрілкою показаний напрямок прокатки)

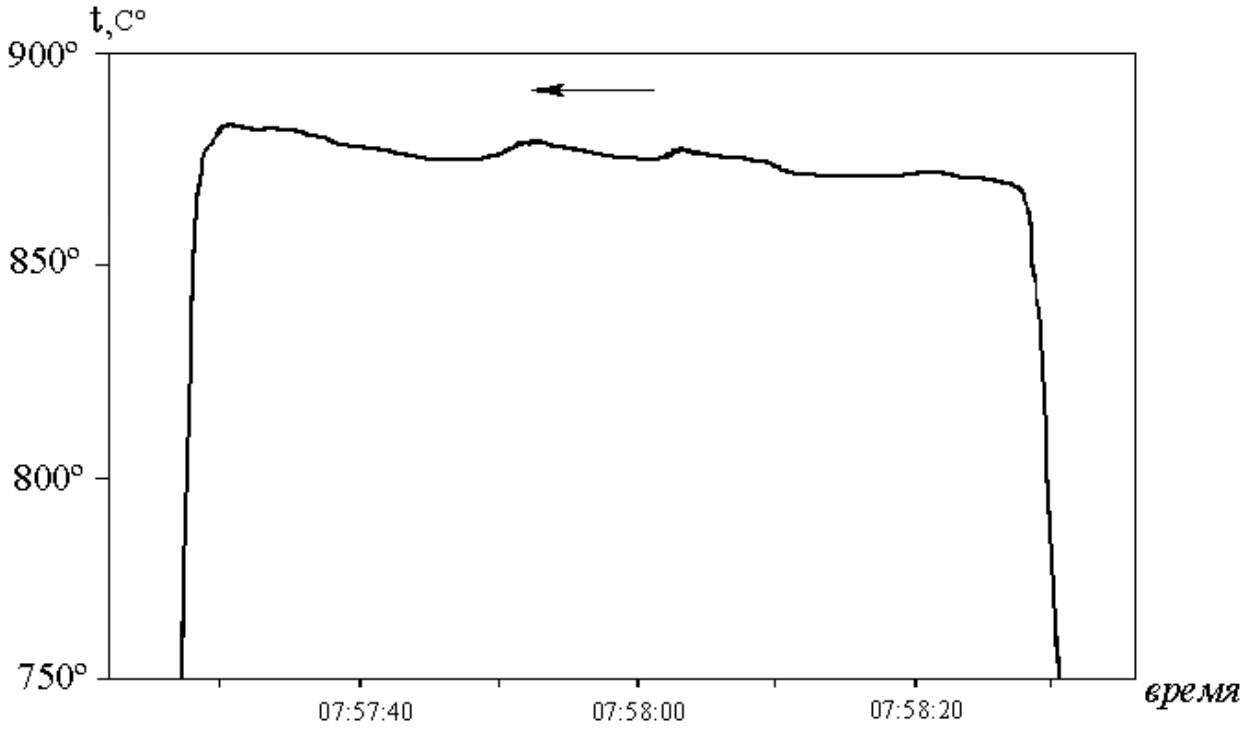


Рисунок 2.3 – Розподіл температури по довжині смуги (сталь 08пс; стрілкою показаний напрямок прокатки)

Даний спосіб забезпечує рівномірний розподіл температури по всій довжині, що усуває саму причину виникнення поздовжньої різнотовщиності. Але необхідність постійного підстроювання стана, викликаної варіюванням швидкості, підвищує трудомісткість роботи операторів і вальцювальників чистової групи клітей.

Впровадження запропонованої технології прокатки вимагає модернізації стана 1680, а саме автоматизації процесу прокатки в чистовій групі клітей.

Таке рішення не усуває більшості дефектів, тому що головним завданням є рівномірний розподіл температури не тільки по довжині, а й по всій поверхні розкату.

Отже, необхідно встановити на стані 1680 систему моталок у печах «COIL-BOX», вона дозволить забезпечити рівномірний розподіл температури по всій зовнішній і внутрішній поверхні розкату для наступної його прокатки в чистовій групі клітей.

Загальні принципи конструкції «Coil-Box»

«Coil-Box» забезпечить більше рівномірний розподіл температур розкату, що задає в чистову групу клітей. Це дозволить розширити асортименти продукції і збільшити розмір рулону з одночасним підвищенням якості. Специфікації стана і робочі характеристики «Coil-Box» наведені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Специфікації стана і робочі характеристики «Coil-Box»

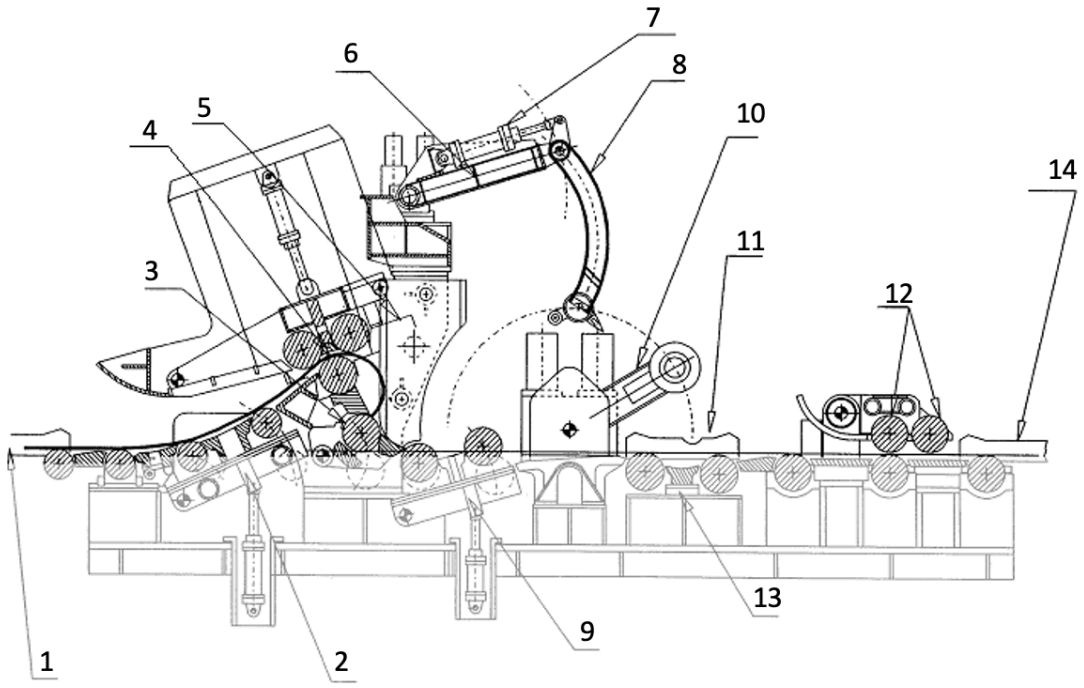
Річна продуктивність стана	3,500,000 млн. тонн у рік
Марки стали	Низьковуглецеві і високовуглецеві сталі, високоміцні низьколеговані сталі, нержавіючі сталі
Товщина сляба	140 – 168 мм
Довжина сляба	4200 – 9500 мм
Товщина розкату	18 - 36 мм
Ширина розкату	850 - 1520 мм
Температура розкату	950 - 1150 °С
Питома маса рулону, на од. ширини	4.5 – 12.5 кг/мм
Максимальна маса рулону	18.6 тонн
Діаметр очка Койлбокса	600 – 650 мм
Максимальний зовнішній діаметр рулону	1600 мм
Заправна швидкість Койлбокса	2.0 – 4.5 м/сек
Максимальна робоча швидкість Койлбокса	4.5 м/сек
Максимальна швидкість розмотування	2.5 м/сек
Швидкість різу головної частини розкату на кінцевих ножицях	2.0 м/сек
Швидкість зближення з F5	2.0 м/сек і 1.5 м/сек
Мінімальний час паузи F5	5 секунд

Койлбокс змотує заготівлю після останнього пропуску в чорновій кліті, потім розмотує її, подаючи до стана чистової прокатки, тим самим зберігається температура заготівлі і забезпечується можливість катати заготівлю, довжина якої перевищує довжину проміжного рольганга.

Койлбокс (рис. 2.4) починає змотку, направляючи заготівлю по вхідному желобу до трьох гибочних роликів, що надають заготівлі кривизну. Вигнута заготівля виходить із гибочних роликів так, щоб головний кінець ударяв по верхньому формуючому настилі. У міру виходу додаткової заготівлі з гибочних роликів головний кінець сковзає вниз по поверхні настилу над формуючим роликом до нижнього формуючого настилу. При

цьому русі – заготівля повертається навколо головного кінця, тим самим збільшуючи кривизну. Коли вигнута заготівля торкнеться ролика колиски 1А, вона негайно направляється нагору для формування круглого очка рулону. заготівля, що залишилася, намотується на очко рулону.

Спрощена загальна схема розташування вхідного жолобу, роликів колиски, що формує рулон ролика, гибочних і тягнучих роликів показана на рис. 2.4. Конфігурація роликів повинна сприяти надійному формуванню круглого очка рулону і стабільній підтримці рулону в міру збільшення його діаметра. Рами, отгибач, передатний важіль і ролик колиски № 1 повинні відповідати максимальному розміру рулону, що змотує.



1 – Вхідні бокові напрямні Койлбокса, 2 – Вхідний жолоб, 3 – Формуючий рулонний ролик, 4 – Згинальні ролики, 5 – Стабілізатори, 6 – Важіль відгинателя, 7 – Циліндр підгину, 8 – Важіль підгину, 9 – Передавальний важіль, 10 – Бокові напрямні ножиць, 11 – Бокові напрямні роликів люльки № 2, 12 – Випрямляючий-тягнучий ролик, 13 – Ролики люльки № 1, 14 – Ролики люльки № 2

Рисунок 2.4 – Поперечний переріз типового Койлбокса

Вхідні бічні направляючі Койлбокса

Бічні направляючі центрують головний кінець заготівлі перед подачею в Койлбокс і запобігають бічний зсув по всій довжині заготівлі.

Бічні направляючі автоматично зрушуються і розсовуються (короткий хід), щоб пристосуватися до розширення головного і хвостового кінця заготівлі. Зазор “зсуву” між бічними направляючими і заготівлею запобігає застрявання через зміну ширини заготівлі.

Частина кожної напрямної повинна бути паралельна осьової лінії стана, розтруб витягнуть до крайок роликів рольганга. Паралельна секція напрямних повинна підходити якнайближче до вхідної ринви (рис. 2.5).

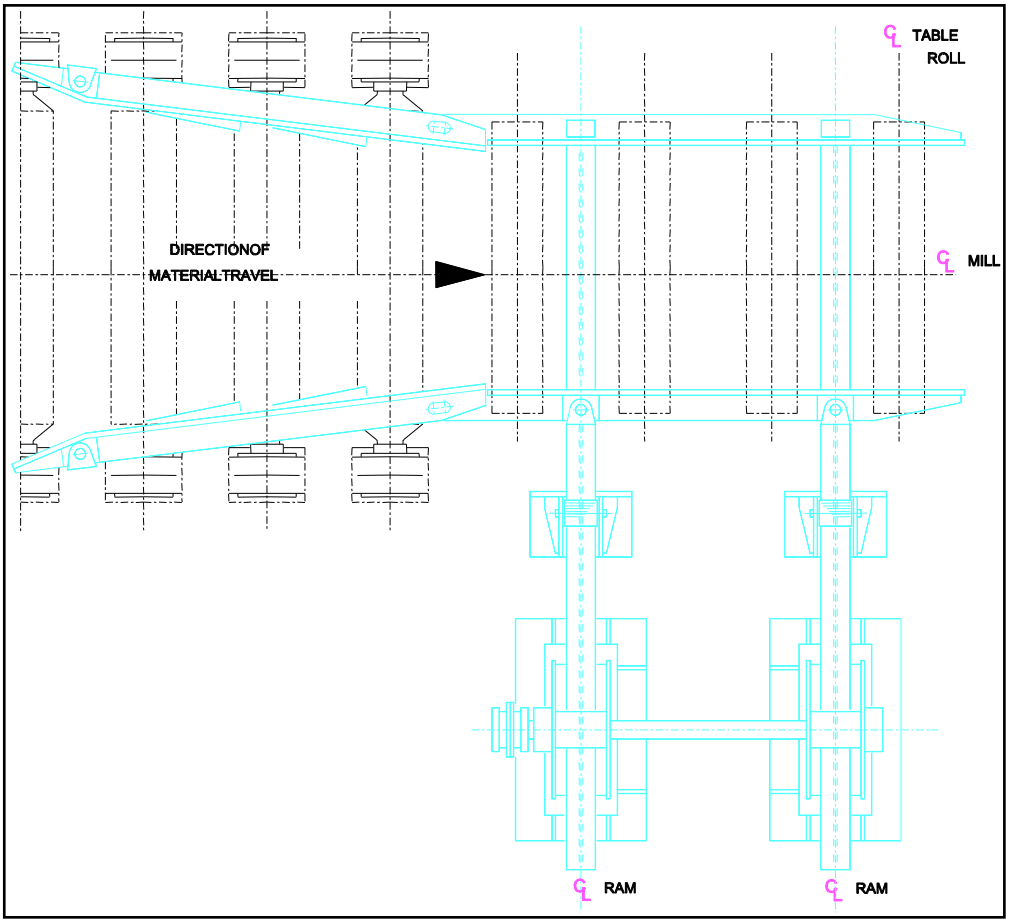


Рисунок 2.5 – Вхідні бічні направляючі Койлбокса

Мінімальна швидкість бічних направляючих 50 мм/с на одну сторону. Це дозволяє закінчувати хід до подачі головного кінця заготівлі в гибочні ролики.

Вхідний жолоб

Вхідний жолоб направляє головний кінець смуги до гибочних роликів при роботі Койлбокса або уздовж лінії прокатки стана при роботі без Койлбокса. Зміна між режимом роботи і режимом пропуску Койлбокса повинне виконуватися з мінімальною перервою у виробництві або без нього. Вхідний жолоб повинен забезпечувати передачу смуги на роликах, щоб не було контакту з настилом після проходження головного кінця.

Немає необхідності пускати в хід ролики вхідного жолоба в режимі Койлбокса, тому що ці ролики контактують зі смугою тільки в той момент, коли головний кінець направляється нагору по вхідній ринві. На станах, де планується робота в режимі пропуску Койлбокса, може знадобитися привод для цих роликів.

Конструкція шпинделя приводних роликів жолоба повинен витримувати удар головного кінця заготівлі. Над вхідним жолобом повинен бути дефлектор, щоб відхиляти спрямований нагору головний кінець для завдання в Койлбокс.

Гибочні ролики і регулювання зазору

Гибочні ролики надають вигин смузі на виході вхідної ринви. Зазор між верхніми й нижніми роликами регулюється для зміни радіуса вигину, що дозволяє змінювати товщину заготівлі. У міру збільшення розміру рулону верхні гибочні ролики піднімаються, щоб контролювати реверсивний вигин заготівлі під час змотування і забезпечувати пропуск заднього кінця до отгибача без вигину.

Нижній ролик фіксується на рамі Койлбокса, а обоє верхніх ролика змонтовані на рухливій рамі. Рухлива рама повертається для регулювання зазору й відводу гибочного ролика.

Зазор між гибочними роликами регулюється з точністю 0,5мм. Контрольованого підйому рами верхнього гибочного ролика можна досягти за допомогою пропорційного клапана і циліндра.

Максимально підняте положення верхньої рами забезпечує зазор, необхідний для запобігання реверсивного вигину для рулону найбільшого діаметра.

Станція змотування/розмотування

Станція змотування/розмотування складається з формуючий рулон ролика, пари роликів колиски № 1 (1А и 1У) і відповідних настилів (рис. 2.6). Вигнута заготівля (головний кінець) формує очко рулону при контакті з формуючим роликом, настилом і роликом колиски. Станція змотування продовжує підтримувати рулон протягом усього процесу змотування і при початку розмотування.

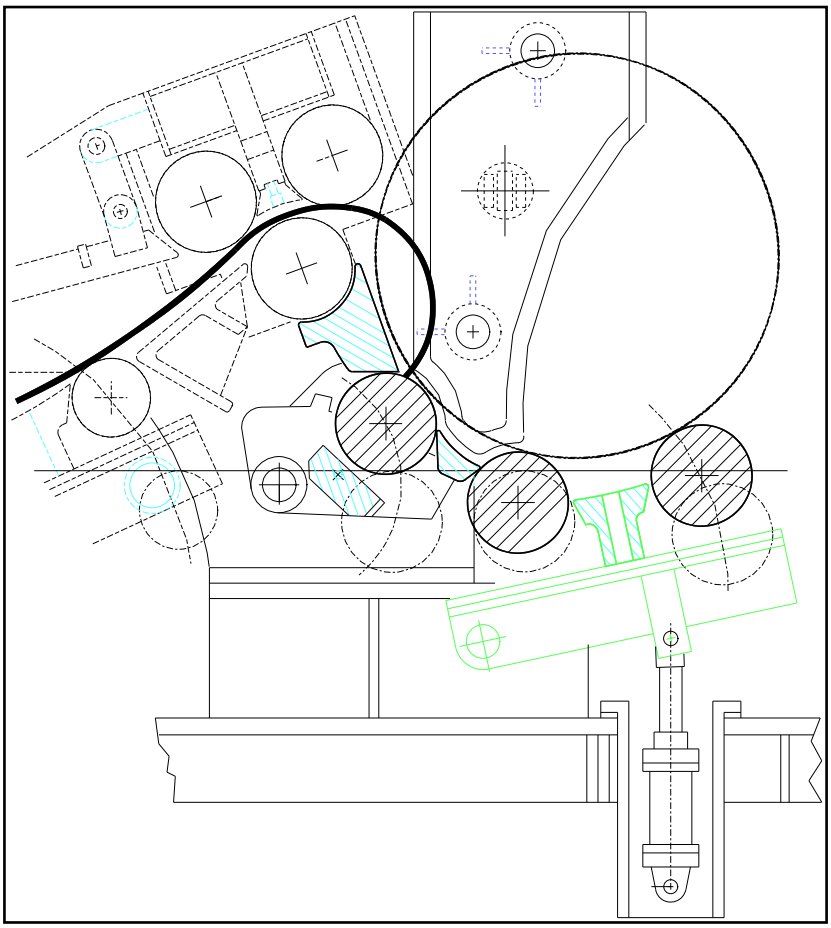


Рисунок 2.6 – Станція змотування Койлбокса

Стратегія змотування, названа «трьохроликове змотування», поліпшує надійність змотування, збільшуючи стабільність рулону, і запобігає расцентровку зовнішніх витків. Це досягається шляхом утримання рулону в контакті з формуючим роликом і роликом колиски 1А в процесі змотування. На початку змотування формуючий рулон ролик № 1 і ролики колиски розташовані так, щоб описати коло діаметром 1200 мм. У міру збільшення діаметра рулону рама роликів колиски опускається, як це визначено розрахунком діаметра рулону і розташуванням ролика колиски. Між рулоном і роликом колиски 1В зберігається зазор, щоб запобігти ушкодженню роликів колиски, викликуване овальністю рулону.

Ролики колиски № 2

Ролики колиски № 2 підтримують рулон при остаточному розмотуванні після його передачі з роликів колиски № 1. Ролики утворять частина рольганга, що підводить, обрізних ножиців. Ролики колиски повинні бути розташовані в сполученні зі шляхом, описуваним барабаном передатного важеля, щоб плавно прийняти переданий рулон. Ролики колиски можуть приводитися одним двигуном через редуктор.

Зазор між роликами колиски перекривається настилом, зробленим із прутків для вільного падіння пухкої окалини. Контур настилу повинен забезпечувати зазор для внутрішнього витка рулону діаметром 600 мм. ролик, що перебуває нижче, колиски (2В) повинен бути на 50 мм нижче лінії прокатки, щоб зменшити зворотний вигин при розмотуванні.

Між заготівлями протягом 30 с подаються зовнішні струмені води.

Стабілізатор рулонів

Стабілізатори забезпечують стабільність вузьких рулонів на роликах колиски № 1. Рулони вважаються вузькими, якщо співвідношення діаметра рулону до ширини більше 2.5. Стабілізатори повинні бути здатні повторно

центрувати рулони і випрямляти расцентрировані стінки рулону, коли рулон нерухомий.

Стабілізатори автоматично зрушуються від максимального розчину при змотуванні і поміщають рулон в обмежений простір ширини заготівлі плюс зазор. Наприкінці змотування стабілізатори автоматично зрушуються для вирівнювання стінок рулону і центрування рулону, потім розсовуються, обмежуючи рулон шириною смуги плюс зазор.

Плити стабілізатора прикривають більшу частину стінок рулону. Плити йдуть униз до роликів колиски й над верхи найбільшого рулону, направляючи зовнішні витки (рис. 2.9). Плити стабілізатора мають достатню твердість, щоб пручатися відхиленню в підставі рулону і витримувати крутні зусилля при контакті з обертовим рулоном.

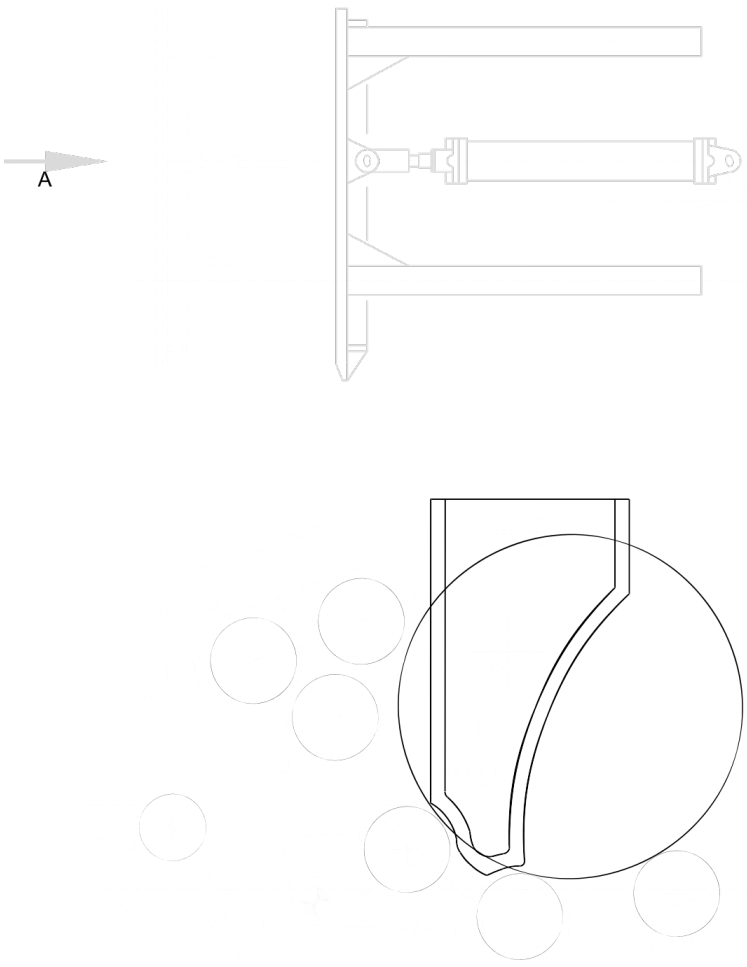


Рисунок 2.7 – Стабілізатор рулону

Механізм отгибача

Механізм отгибача готовить змотану смугу до розмотування, відгинаючи кінець із поверхні рулону й утримуючи заготівлю на лінії прокатки. Отгибач повинен притискати заготівлю на початку розмотування рулону і залишатися в цьому положенні доти, поки наступний вузол не прийме натяг, створюваний головним кінцем.

1. Робочі положення отгибача: положення готовності, де важіль отгибача звисає над станцією змотування, забезпечуючи зазор для проходження хвостового кінця, при цьому важіль підгинання підігнуть положення з, де швидкість опускання отгибача зменшується на 25%, щоб зменшити силу удару об рулон. Це змінне положення, що розраховує з урахуванням діаметра рулону, що відгинає положення внизу, коли важіль отгибача повертається вниз у механічного обмежника, при цьому важіль підгинання жорстко блокований. У цьому положенні ніж отгибач відгинає задній кінець рулону і ролик отгибача буде втримувати рулон на лінії прокатки для розмотування.

2. Неробочі положення отгибача: положення паркування, при якому отгибач повертається до верхнього кінця ходу. При цьому забезпечується проміжок для видалення рулонів мостовим краном зі станції змотування. Положення паркування застосовується також як стабільне місцезнаходження отгибача при прокатці без Койлбокса положення імітації, при якому отгибач повертається на 20^0 нижче положення готовності для індикації відгину при моделюванні Койлбокса.

Механізм отгибача складається із двох частин: важеля отгибача і важеля підгинання (рис. 2.8). Важіль підгинання постачений роликом і ножем, що складається з леза і невеликого холостого ролика. Вузол ножа повертається навколо ролика отгибача і урівноважується або втримується механічними упорами при первісному контакті з рулоном у процесі відгинання. Обертання ножа обмежується механічними упорами, коли ніж піднятий з рулону.

Обидві частини отгибача приводяться в рух за допомогою окремих гідравлічних операцій. Цикл положення отгибача внизу - від положення готовності до повного нижнього положення (відгин), при цьому важіль підгинання втримується в підігнутому положенні під низьким тиском. Це дозволяє важелю підгинання йти вниз по зовнішній поверхні рулону, щільно притискаючи ніж отгибач до поверхні рулону.

Циліндр важеля підгинання буде блокований при досягненні нижнього положення отгибача.

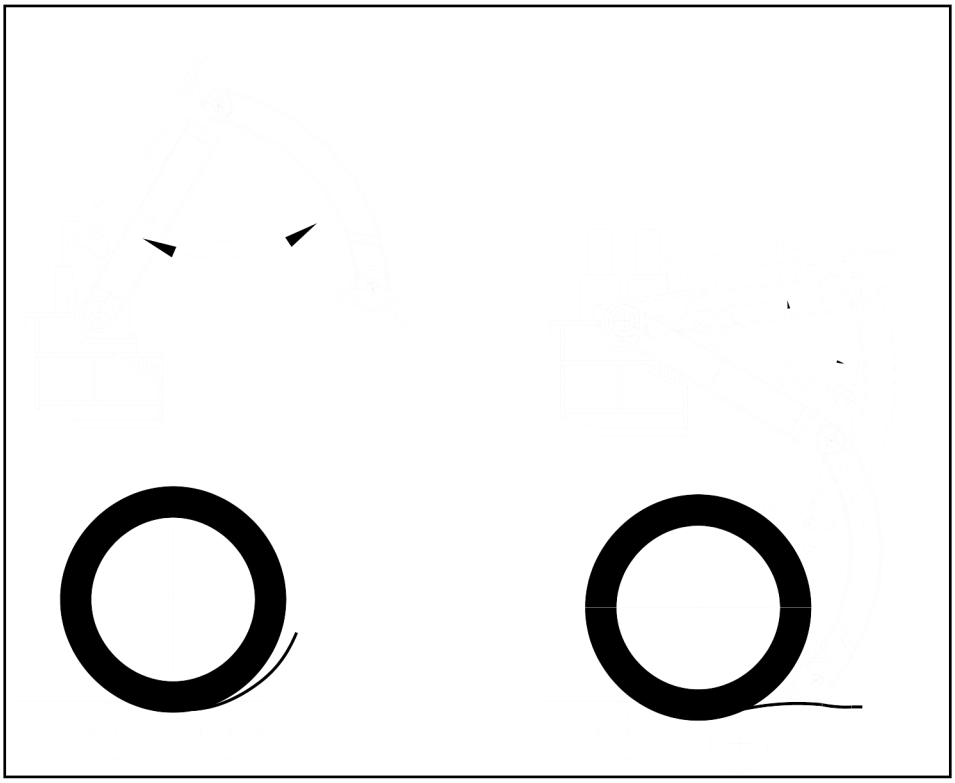


Рисунок 2.8 – Механізм отгибача

Положення відгину важеля отгибача має фіксований механічний упор із прокладками, які дозволяють регулювати положення ролика отгибача на 50 мм вище і нижче лінії прокатки. Нижнє робоче положення встановлюється в період пуску на холодному рулоні.

Механізм передачі

Механізм передачі з оправленнями, уведеними в очко рулону, плавно переміщає рулон з роликів колиски № 1 на ролики колиски № 2 під час

розмотування (рис. 2.9). При змотувані і розмотуванню смуга на роликах колиски треба за очком рулону. Оправлення залишаються в очку в процесі всього розмотування, утримуючи рулон на роликах колиски й забезпечуючи повне розмотування рулону.

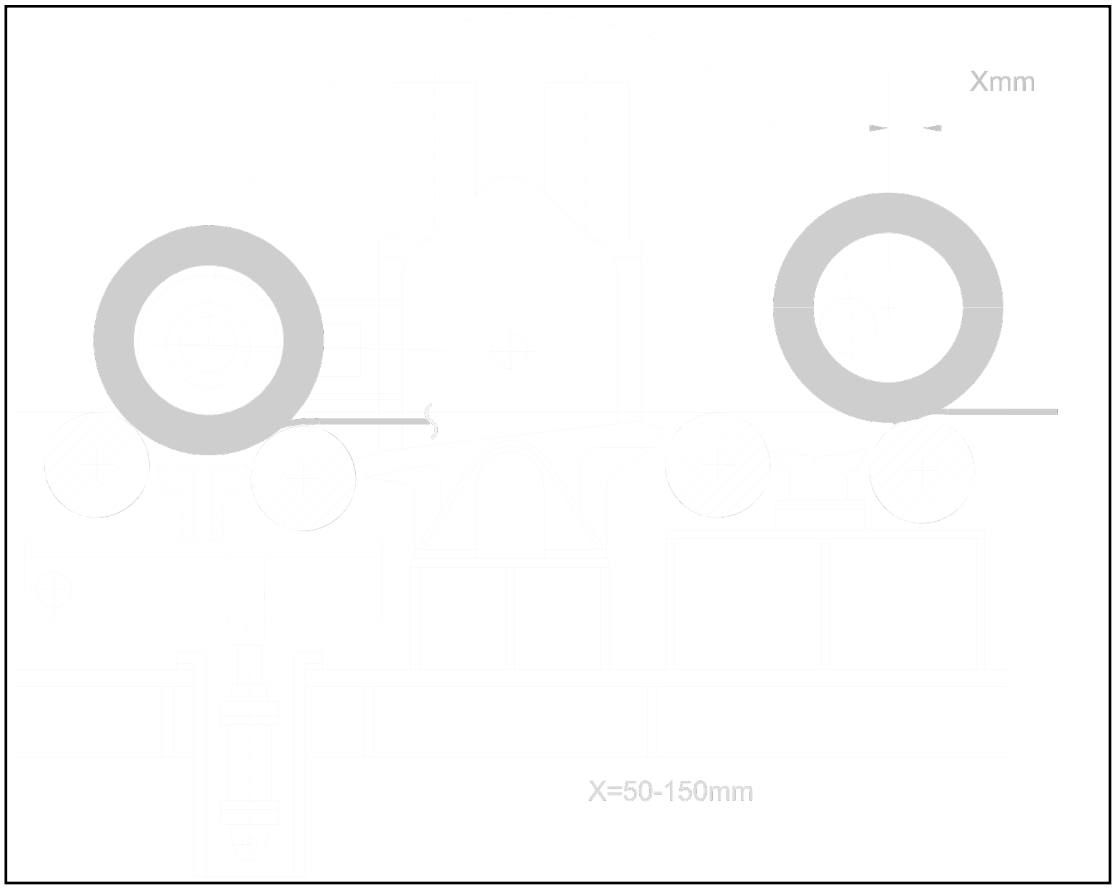


Рисунок 2.9 – Передавальний механізм

Передавальний механізм здатний підтримувати рулон найбільшого розміру. Оправлення вдвигача і висуватися зі швидкістю 250 мм/с і бути здатними витримувати зусилля 8500 кг. Оправлення з важелями передачі, розташованими на роликах колиски № 1 входять точно в центр очка рулону з мінімальним допуском 75 мм.

Оправлення, перебуваючи на роликах колиски № 2, дозволяє витягти кілька останніх витків рулону з роликів колиски й утримувати на ролику колиски 2В.

Бічні направляючі автоматично зрушуються від максимального розчину після проходження головного кінця через правильно-тягнучий ролик. Бічні направляючі мають скошені крайки, щоб уникнути ушкодження стінок рулону.

Розміщення і конструкція цих направляючих не заважає руху передатного важеля.

Бічні направляючі обрізних ножиців

Бічні напрямні забезпечують напрямок головного кінця заготівлі уздовж осьової лінії стана при розмотуванні рулону. Бічні напрямні ножиців розсовуються, коли зрушуються бічні напрямних роликів колиски № 2.

Бічні напрямні мають розтруб. Регулятор положення зрушує бічні напрямні після тимчасової затримки, що спрацьовує, коли головний кінець заготівлі досягає виходу з Койлбокса, і розсовує напрямні після початку передачі рулону або після проходження заднього кінця через вихід Койлбокса.

Правильно-тягнучий ролик

Правильно-тягнучий ролик має три виразних функції в процесі Койлбокса. Первинна функція - зменшувати висоту хвиль розмотує заготовки, що, перед окалиноломачем. Тягнучий ролик допомагає подавати заготівлю до стана чистової прокатки. У випадку бурежки стана тягнучий ролик допомагає витягнути смугу із чистового стана.

Рама верхнього правильно-тягнучого ролика має дефлектор, щоб направляти заготівлю під роликом. Верхній ролик піднімається і забезпечує зазор не менш 200 мм для проходу головного кінця.

Між заготівлями протягом максимум 30 с верхні ролики прохолоджуються зовнішніми струменями води. Шейку тягнучих роликів прохолоджується безупинно. Підйом правильного ролика регулюється в діапазоні від -10 до +15 мм щодо тягнучого ролика за допомогою прокладок.

Гідравлічні циліндри захищені від випромінюваного рулоном тепла.

3 ОБРОБКА І ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1 Розробка технологічного процесу прокатки

Технологія прокатки гарячекатаної смуги 3.0 х 900 зі сляба 140 х 900 х 4500 нержавіюча сталь 08Ю на стані БТЛС 1680. Нержавіюча сталь 08Ю містить С - 0,07%, Cr - 0,03%, Ni - 0,06%, S - 0.025%, Si - 0.01%, Mn - 0.20%, Ae-0,07%.

Технологія прокатки в чорновій групі

Потрібно розрахувати режими деформації при прокатці смуги перетином 3,0 х 900 мм зі сляба 140 х 900 х 4500.

3.1.1 Розрахунок режимів обтиснень.

Максимальна товщина підкату для клітей чистової групи h = 19-20 мм.

Сумарне висотне обтиснення складе $\Delta h_{\sum} = 137 - 3 = 134$ мм.

Сумарне обтиснення в чистовій групі складе $\Delta h_{\sum} = 20 - 3 = 17$ мм.

Сумарне обтиснення в чорновій групі складе $\Delta h_{\sum} = 137 - 20 = 117$ мм.

Коефіцієнт тертя при захвату металу валками визначається по формулі [14,стор.60].

$$F = 1{,}05 – 0{,}0005t – 0{,}056V; \quad (3.1)$$

де t – температура розкату в кліті, ^{0}C

V – швидкість прокатки в кліті, м/с

Температурний інтервал прокатки в клітях чорнової групи відповідно до технологічної інструкції [6. стр. 10]:

$1060 \leq t \leq 1220$ ^{0}C

Температуру розкату в кожній кліті беремо приблизно.

Кліть "ДУО" (чорновий окалиноломач) :

t = 1195 ^{0}C

при $V_д$ = 0,67 м/с [6. стр. 85, табл. 47]

$f_д$ = 1,05 – 0,0005 • 1195 – 0,056 •0,67 = 0,415

Кліть № 1

t = 1190 ^{0}C

при V_1 = 1,02 м/с

f_1 = 1,05 – 0,0005 • 1190 – 0,056 •1,02 = 0,398

Кліть № 2

t = 1180 ^{0}C

при V_2 = 1,04 м/с

f_2 = 1,05 – 0,0005 • 1180 – 0,056 •1,04 = 0,402

Кліть № 3

t = 1155 ^{0}C

при V_3 = 1,72 м/с

f_3 = 1,05 – 0,0005 • 1155 – 0,056 •1,72 = 0,268

Кліть № 4

t = 1120 ^{0}C

при V = 2,75 м/с

f_4 = 1,05 – 0,0005 • 1120 – 0,056 •2,75 = 0,226

Умова захвата металу валками tq $\alpha \leq$ f ,

де α – кут захвата металу валками в радіанах.

Максимальний кут захвата визначимо по формулі:

$$\alpha_{\max} = arctq\, f \quad ; \qquad (3.2)$$

$$\alpha_{\max д} = arctq 0{,}415 = 0{,}393 = 25{,}04^0$$

$$\alpha_{\max 1} = arctq0{,}398 = 0{,}379 = 24{,}11^0$$
$$\alpha_{\max 2} = arctq0{,}402 = 0{,}382 = 24{,}33^0$$
$$\alpha_{\max 3} = arctq0{,}268 = 0{,}262 = 16{,}67^0$$
$$\alpha_{\max 4} = arctq0{,}226 = 0{,}222 = 14{,}15^0$$

Величину максимально припустимих обтиснень по куті захвата визначимо по формулі :

$$\Delta h_{\max} \le \alpha^2 \bullet R_{p\min}; \quad (3.3)$$

де $R_{p\min}$ - мінімальний робочий радіус валків, мм

Відповідно до технологічної інструкції [7. табл.3] :

$$R_{p\min д} = 810/2 = 405мм$$
$$R_{p\min 1} = 880/2 = 440мм$$
$$R_{p\min 2} = 780/2 = 390мм$$
$$R_{p\min 3} = 580/2 = 290мм$$
$$R_{p\min 4} = 580/2 = 290мм$$

Отже величини максимально припустимих обтиснень по куті захвата будуть наступні :

$$\Delta h_{\max д} = (0{,}393)^2 \bullet 405 = 62{,}55мм$$
$$\Delta h_{\max 1} = (0{,}379)^2 \bullet 440 = 63{,}20мм$$
$$\Delta h_{\max 2} = (0{,}382\ )^2 \bullet 390 = 56{,}91мм$$
$$\Delta h_{\max 3} = (0{,}262)^2 \bullet 290 = 22мм$$
$$\Delta h_{\max 4} = (0{,}222)^2 \bullet 290 = 14мм$$

Розрахункові величини обтиснень по кожній із клітей згідно припустимих відносних обтиснень у клітях чорнової групи [таблиця №1.4] наступні :

$$\Delta h_{p\max д} = \Delta h_{\Sigma черн} \bullet E_д = 117 \bullet 0{,}25 = 29{,}25мм$$
$$\Delta h_{p\max 1} = \Delta h_{\Sigma черн} \bullet E_1 = 117 \bullet 0{,}37 = 43{,}29мм$$
$$\Delta h_{p\max 2} = \Delta h_{\Sigma черн} \bullet E_2 = 117 \bullet 0{,}4 = 46{,}80мм$$
$$\Delta h_{p\max 3} = \Delta h_{\Sigma черн} \bullet E_3 = 117 \bullet 0{,}4 = 46{,}80мм$$
$$\Delta h_{p\max 4} = \Delta h_{\Sigma черн} \bullet E_4 = 117 \bullet 0{,}4 = 46{,}80мм$$

Оптимальне обтиснення в чорновому окалиноломаче 5-20 %.

При менших обтисненнях шар окалини погано зламується, а при більших вдавлюється в поверхню сляба .

Нехай приймемо $E_д = 16\%$

$\Delta h_д = \Delta h_{Σчерн} \bullet E_Д = 117 \bullet 0{,}16 = 22мм$ приймаємо $\Delta h_д = 22мм < \Delta h_{max\,д}$

нехай приймемо $E_1 = 34\%$

$\Delta h_1 = \Delta h_{Σчерн} \bullet E_1 = 117 \bullet 0{,}34 = 40мм$ приймаємо $\Delta h_1 = 40мм < \Delta h_{max\,1}$

нехай приймемо $E_2 = 19\%$

$\Delta h_2 = \Delta h_{Σчерн} \bullet E_2 = 117 \bullet 0{,}19 = 22мм$ приймаємо $\Delta h_2 = 22мм < \Delta h_{max\,2}$

нехай приймемо $E_3 = 18\%$

$\Delta h_3 = \Delta h_{Σчерн} \bullet E_3 = 117 \bullet 0{,}18 = 21мм$ приймаємо $\Delta h_3 = 21мм < \Delta h_{max\,3}$

тоді $\Delta h_4 = \Delta h_{Σчерн} - \Delta h_д - \Delta h_1 - \Delta h_2 - \Delta h_3 = 117 - 22 - 40 - 22 - 21 = 12мм$

звідси $E_4 = \frac{\Delta h_4}{\Delta h_{Σчерн}} \bullet 100 = 10\%$; (3.4)

Результати розрахунків зводимо в таблицю № 3.1

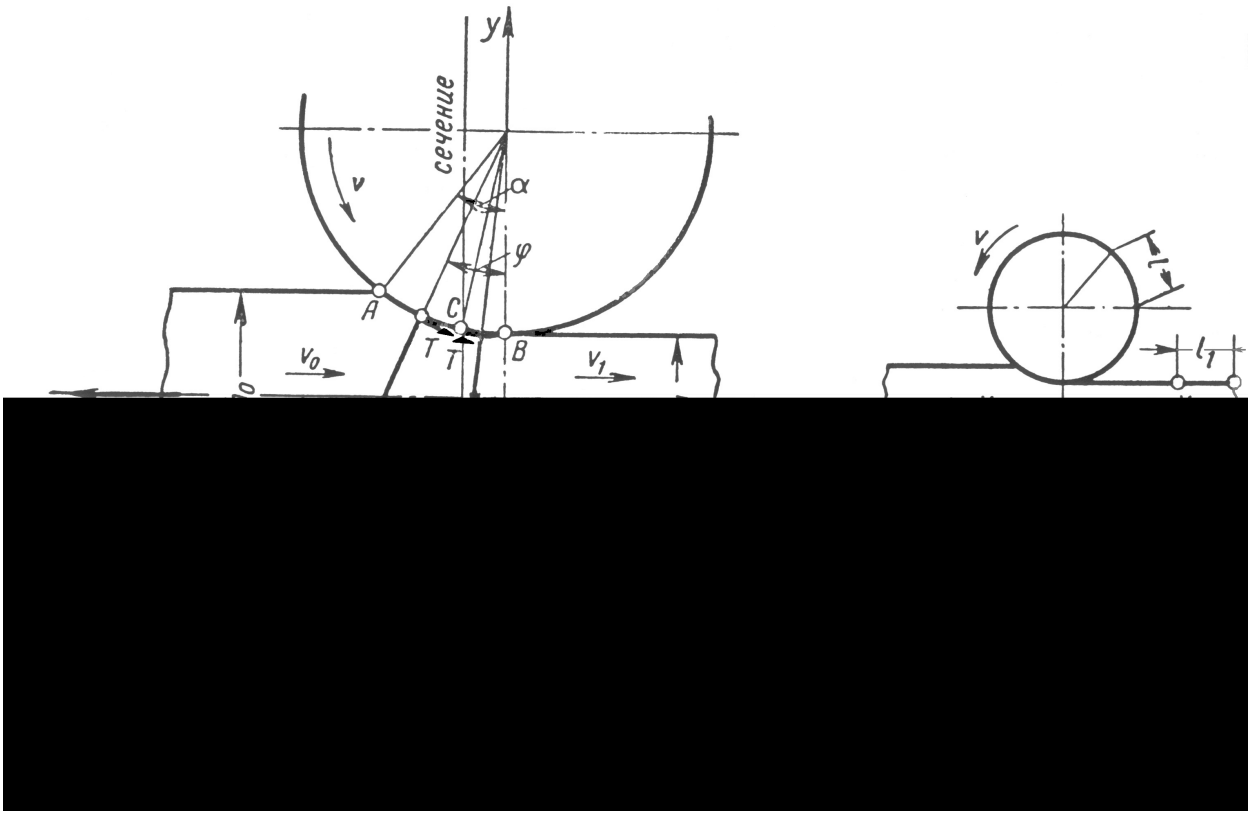
Таблиця 3.1 – Обтиснення чорнової групи.

Кліть	Розрахункове обтиснення, мм	Максимально припустиме обтиснення по куту захвату, мм
ДУО	22	62,55
1	40	63,20
2	22	56,91
3	21	22
4	12	14

Відповідно до зробленої модернізації стана чорнову групу ділимо на дві безперервні підгрупи, у першу входять кліті "ДУО" і кліть № 1, у другу - кліті № 2, 3, 4.

З рівності сталості секундного обсягу й з обліком того, що в безперервній групі клітей $b_1h_1 = b_2h_2$, отримана залежність для розрахунку швидкості прокатки в кожній кліті без обліку випередження.

Тому що оберти "ДУО" підбудовуємо під оберти кліті № 1, спочатку визначаємо швидкість у кліті № 1.



а) сили, що діють на метал у зоні відставання і у зоні випередження при сталому процесі прокатки; б) вимір випередження металів.

Рисунок 3.1 – Осередок деформації

Швидкість прокатки в кліті № 1 буде дорівнює :

$$V_1 = \frac{П \bullet R_1 \bullet n_1}{30} \quad ; \quad (3.5)$$

Де R_1 – радіус робочого валка, м

n_1 – число обертів валка, об/хв

$$V_1 = \frac{3{,}14 \bullet 0{,}440 \bullet 22{,}2}{30} = 1{,}02 м/с$$

$$V_д = \frac{h_1 \bullet V_1}{h_д} = \frac{75 \bullet 1{,}02}{115} = 0{,}67 м/с$$

Визначаємо швидкості прокатки для другої безперервної підгрупи чорнової групи клітей.

Тому що ми підбудовуємо оберти під кліть № 2, те спочатку визначаємо швидкість прокатки для другої кліті.

$$V_2 = \frac{П \bullet R_2 \bullet n_2}{30} \quad ; \quad (3.6)$$

де R_2 – радіус робочого валка, м

n_2 – число обертів валка

$$V_2 = \frac{3{,}14 \bullet 0{,}39 \bullet 25{,}5}{30} = 1{,}04 м/с$$

$$V_3 = \frac{V_2 \bullet h_2}{h_3} = \frac{1{,}04 \bullet 53}{32} = 1{,}72 м/с$$

$$V_4 = \frac{V_3 \bullet h_3}{h_4} = \frac{1{,}72 \bullet 32}{20} = 2{,}75 м/с$$

Певну в такий спосіб швидкість необхідно скорегувати на величину випередження. Швидкість виходу смуги визначають по формулі:

$$V = V_в(1+S) \quad ; \quad (3.7)$$

де $V_в$- швидкість отримана без обліку випередження, м/с

S - випередження

Відповідно до запропонованого Екелундом формулі [2, стор. 19]

$$S = \frac{\gamma^2}{2}\left(\frac{d}{h} - 1\right); \quad (3.8)$$

де d - діаметр валків, м

γ - нейтральний кут, рад

h - товщина смуги на виході з валків, м

Нейтральний кут визначимо по залежності :

$$\sin\gamma = \frac{\sin\alpha}{2} - \frac{1-\cos\alpha}{2f} \quad ; \quad (3.9)$$

де f - коефіцієнт тертя

α – кут захвата, радий

Кут захвата визначається по формулі :

$$\alpha = \sqrt{\frac{\Delta h}{R}} \; ; \qquad (3.10)$$

де Δh - абсолютне обтиснення, мм;

R - радіус валка, мм.

Для першої підгрупи визначаємо швидкість із урахуванням випередження для кліті "ДУО".

$$\alpha_д = \sqrt{\frac{\Delta h_д}{R_д}} = \sqrt{\frac{22}{405}} = 0{,}233\,рад$$

$$\sin\gamma_д = \frac{\sin 0{,}233}{2} - \frac{1-\cos 0{,}233}{2 \bullet 0{,}415} = 0{,}083$$

$$\gamma_д = \arcsin 0{,}083 = 0{,}083\,рад$$

$$S_д = \frac{0{,}083^2}{2}\left(\frac{0{,}810}{0{,}115} - 1\right) = 0{,}02$$

Швидкість виходу металу з валків з урахуванням випередження:

$$V_д = 0{,}67(1 + 0{,}02) = 0{,}69\,м/с$$

Для другої підгрупи визначаємо випередження для кліті № 3, 4

Кут захвата для клітей № 3, 4:

$$\alpha_3 = \sqrt{\frac{\Delta h_3}{R_3}} = \sqrt{\frac{21}{290}} = 0{,}269\,рад$$

$$\alpha_4 = \sqrt{\frac{\Delta h_4}{R_4}} = \sqrt{\frac{12}{290}} = 0{,}203\,рад$$

$$\sin\gamma_3 = \frac{\sin 0{,}269}{2} - \frac{1-\cos 0{,}269}{2 \bullet 0{,}268} = 0{,}066$$

$$\sin\gamma_4 = \frac{\sin 0{,}203}{2} - \frac{1-\cos 0{,}203}{2 \bullet 0{,}226} = 0{,}056$$

$$\gamma_3 = 0{,}066$$

$$\gamma_4 = 0{,}056$$

$$S_3 = \frac{0{,}066^2}{2}\left(\frac{0{,}58}{0{,}032} - 1\right) = 0{,}04$$

$$S_4 = \frac{0{,}056^2}{2}\left(\frac{0{,}58}{0{,}02} - 1\right) = 0{,}04$$

$$V_3 = 1{,}72(1 + 0{,}04) = 1{,}79\,м/с$$

$$V_4 = 2{,}75(1 + 0{,}04) = 2{,}86\,м/с$$

Розраховуємо приблизну довжину розкату після виходу з кожної кліті чорнової групи:

Розміри сляба: Н = 0,137 м , В = 0,900 м, L = 4,500 м.

$V_{сляба}$ = Н• У• L = 0,137• 0,9• 4,5 = 0,55485 м^3

$$L_д = \frac{V}{h_д \bullet b} = \frac{0{,}55485}{0{,}115 \bullet 0{,}9} = 5{,}360 м$$

$$L_1 = \frac{V}{h_1 \bullet b} = \frac{0{,}55485}{0{,}075 \bullet 0{,}9} = 8{,}220 м$$

$$L_2 = \frac{V}{h_2 \bullet b} = \frac{0{,}55485}{0{,}053 \bullet 0{,}9} = 11{,}630 м$$

$$L_3 = \frac{V}{h_3 \bullet b} = \frac{0{,}55485}{0{,}032 \bullet 0{,}9} = 19{,}270 м$$

$$L_4 = \frac{V}{h_4 \bullet b} = \frac{0{,}55485}{0{,}02 \bullet 0{,}9} = 30{,}830 м$$

3.1.2 Розрахунок силових параметрів прокатки.

Визначаємо середню товщину підкату:

$$h_{ср} = \frac{h_i + h_{i+1}}{2} \quad ; \qquad (3.11)$$

де h_i – товщина підкату на вході в кліть, мм

h_{i+1} – товщина підкату на виході із кліті, мм

$$h_{срд} = \frac{137 + 115}{2} = 126 мм$$

$$h_{ср1} = \frac{115 + 75}{2} = 95 мм$$

$$h_{ср2} = \frac{75 + 53}{2} = 64 мм$$

$$h_{ср3} = \frac{53 + 32}{2} = 42{,}5 мм$$

$$h_{ср4} = \frac{32 + 12}{2} = 22 мм$$

Довжину дуги захвата згідно[12, стор.23] визначимо по формулі:

$$l = \sqrt{R\Delta h} \; ; \qquad (3.12)$$

$$l_{\partial} = \sqrt{405 \bullet 22} = 94{,}39 мм$$

$$l_1 = \sqrt{440 \bullet 40} = 132{,}67 мм$$

$$l_2 = \sqrt{390 \bullet 22} = 92{,}63 мм$$

$$l_3 = \sqrt{290 \bullet 21} = 78{,}04 мм$$

$$l_4 = \sqrt{290 \bullet 12} = 58{,}99 мм$$

Визначаємо відношення довжини дуги захвата до середньої товщини підкату:

$$\frac{l_{\partial}}{h_{ср\,\partial}} = \frac{94{,}39}{126} = 0{,}75$$

$$\frac{l_1}{h_{ср1}} = \frac{132{,}67}{95} = 1{,}40$$

$$\frac{l_2}{h_{ср2}} = \frac{92{,}63}{64} = 1{,}45$$

$$\frac{l_3}{h_{ср3}} = \frac{78{,}04}{42{,}50} = 1{,}84$$

$$\frac{l_4}{h_{ср4}} = \frac{58{,}99}{22} = 2{,}68$$

Відносне обтиснення по клітях:

$$E_i = \frac{\Delta h_i}{h_i} \bullet 100\% \quad ; \quad (3.13)$$

$$E_{\partial} = \frac{22}{137} \bullet 100\% = 16{,}06\%$$

$$E_1 = \frac{40}{115} \bullet 100\% = 34{,}78\%$$

$$E_2 = \frac{22}{75} \bullet 100\% = 29{,}33\%$$

$$E_3 = \frac{21}{53} \bullet 100\% = 39{,}62\%$$

$$E_4 = \frac{12}{32} \bullet 100\% = 37{,}50\%$$

Згідно даним Целікова [13, стор.631] для визначення середнього контактного тиску використаються наступні формули:

Для кліті "ДУО" при $\frac{l}{h_{ср}} = 0{,}75$

$$P_{срд} = 1{,}15\sigma_T\left(1+\frac{l_д}{6h_{срд}}\right)\left(\frac{l_д}{h_{срд}}\right)^{0,4}; \quad (3.14)$$

де σ_T – границя текучості металу, що прокочує, відповідним реальним умовам обробки.

Згідно [12, стор. 129]:

$$\sigma_T = \sigma_0 \bullet \kappa_t \bullet \kappa_E \bullet \kappa_u ; \quad (3.15)$$

де σ_0 – базисний опір деформації,

$\kappa_t, \kappa_E, \kappa_u$ - термомеханічні коефіцієнти відповідно враховуючу температуру, ступінь і швидкість деформації.

Базисне значення σ_0 і коефіцієнтів $\kappa_t, \kappa_E, \kappa_u$ наведені в літературі [10, стор. 335]

Для нержавіючої сталі (10Х18Н10Т) σ_0 = 95 Мпа

При t = 1195 ^{0}C κ_t = 0,53

E = 16,06% κ_E = 1,07

Для визначення середньої швидкості деформації застосовуємо формулу Екелунда [12, стор.81]:

$$U_{срд} = \frac{V_д \bullet \alpha_д}{l_д}; \quad (3.16)$$

$$U_{срд} = \frac{0{,}69 \bullet 0{,}233}{0{,}09439} = 1{,}5c^{-1}; \ \kappa_u = 0{,}78$$

$$\sigma_T = 95 \bullet 0{,}53 \bullet 1{,}07 \bullet 0{,}78 = 42{,}02 МПа$$

$$P_{срд} = 1{,}15 \bullet 42{,}02\left(1+\frac{94{,}39}{6 \bullet 126}\right)\left(\frac{94{,}39}{126}\right)^{0,4} = 48{,}42 МПа$$

Повне зусилля прокатки визначаємо по формулі :

$P = P_{ср} \bullet B \bullet l_д$; (3.17)

де В - ширина матеріалу, що прокатується, м

$P_д$ = 48,42• 0,9 • 0,09439 = 4,11 МН

Для кліті № 1 при $\frac{l_1}{h_{cp1}} = 1{,}40$

$$P_{cp} = 1{,}15\sigma_T\left(1 + \frac{l}{6h_{cp}}\right) \quad (3.18);$$

$$\sigma_T = \sigma_0 \bullet \kappa_t \bullet \kappa_E \bullet \kappa_u \quad (3.19);$$

При t = 1190 ^{0}C $\quad$ κ_t = 0,58

E = 34,78 % $\quad$ κ_E = 1,36

$$U_{cp1} = \frac{V_1 \bullet \alpha_1}{l_1} \quad ;$$

$$\alpha_1 = \sqrt{\frac{\Delta h_1}{R_1}} = \sqrt{\frac{40}{440}} = 0{,}302\,рад$$

$$U_{cp1} = \frac{1{,}02 \bullet 0{,}302}{0{,}13267} = 2{,}32c^{-1}$$ κ_u=0,84

$\sigma_T = 95 \bullet 0{,}58 \bullet 1{,}36 \bullet 0{,}84 = 62{,}95МПа$

$$P_{cp1} = 1{,}15 \bullet 62{,}95\left(1 + \frac{132{,}67}{6 \bullet 95}\right) = 89{,}24МПа$$

P_1 = 89,24 • 0,9 • 0,13267= 10,66 МН

Для кліті №2 при $\frac{l_2}{h_{cp2}} = 1{,}45$

$$P_{cp} = 1{,}15\sigma_T\left(1 + \frac{l}{6h_{cp}}\right) \quad ; \quad (3.20)$$

$$\sigma_T = \sigma_0 \bullet \kappa_t \bullet \kappa_E \bullet \kappa_u \quad ; \quad (3.21)$$

При t = 1180 ^{0}C $\quad$ κ_t = 0,62

E = 29,33 % $\quad$ κ_E = 1,34

$$U_{cp2} = \frac{V_2 \bullet \alpha_2}{l_2} \quad ; \quad (3.22)$$

$$\alpha_2 = \sqrt{\frac{\Delta h_2}{R_2}} = \sqrt{\frac{22}{390}} = 0{,}238\,рад$$

$$U_{cp2} = \frac{1{,}04 \bullet 0{,}238}{0{,}09263} = 2{,}67c^{-1}$$ κ_u=0,86

$$\sigma_T = 95 \bullet 0{,}62 \bullet 1{,}34 \bullet 0{,}86 = 67{,}88 МПа$$

$$P_{cp2} = 1{,}15 \bullet 67{,}88\left(1 + \frac{92{,}63}{6 \bullet 64}\right) = 96{,}89 МПа$$

$P_2 = 96{,}89 \cdot 0{,}9 \cdot 0{,}09263 = 8{,}08$ МН

Для кліті №3 при $\frac{l_3}{h_{cp3}} = 1{,}84$

$$P_{cp} = 1{,}15\sigma_T\left(1 + \frac{l}{6h_{cp}}\right); \quad (3.23)$$

$$\sigma_T = \sigma_0 \bullet \kappa_t \bullet \kappa_E \bullet \kappa_u; \quad (3.24)$$

При t = 1155 ^{0}C $\quad \kappa_t = 0{,}68$

E = 39,62% $\quad \kappa_E = 1{,}45$

$$U_{cp3} = \frac{V_3 \bullet \alpha_3}{l_3}; \quad (3.25)$$

$\alpha_3 = 0{,}269 рад$

$$U_{cp3} = \frac{1{,}79 \bullet 0{,}269}{0{,}07804} = 6{,}17 c^{-1}$$ $\kappa_u = 0{,}96$

$$\sigma_T = 95 \bullet 0{,}68 \bullet 1{,}45 \bullet 0{,}96 = 89{,}92 МПа$$

$$P_{cp3} = 1{,}15 \bullet 89{,}92\left(1 + \frac{78{,}04}{6 \bullet 42{,}5}\right) = 135{,}06 МПа$$

$P_3 = 135{,}6 \cdot 0{,}9 \cdot 0{,}07804 = 9{,}52$ МН

Для кліті №4 при $\frac{l_4}{h_{cp4}} = 2{,}68$. Розрахунок середнього контактного тиску виконуємо по формулі Бровмана [13, стор. 633] тому що $\frac{l}{h_{cp}} > 2$

$$P_{cp} = 1{,}15\sigma_T\left(0{,}75 + 0{,}25\frac{l}{h_{cp}}\right); \quad (3.26)$$

$$\sigma_T = \sigma_0 \bullet \kappa_t \bullet \kappa_E \bullet \kappa_u; \quad (3.27)$$

При t = 1120 ^{0}C $\quad \kappa_t = 0{,}75$

E = 37,50 % $\quad \kappa_E = 1{,}42$

$$U_{ср4} = \frac{V_4 \bullet \alpha_4}{l_4} \quad ; \qquad (3.28)$$

$$\alpha_4 = 0{,}203 рад$$

$$U_{ср4} = \frac{2{,}86 \bullet 0{,}203}{0{,}05899} = 9{,}84 c^{-1}$$

$к_u$=1,02

$$\sigma_T = 95 \bullet 0{,}75 \bullet 1{,}42 \bullet 1{,}02 = 103{,}20 МПа$$

$$P_{ср4} = 1{,}15 \bullet 103{,}20(0{,}75 + 0{,}25 \bullet 2{,}68) = 168{,}53 МПа$$

P_4 = 168,53 • 0,9 • 0,05899 = 8,95 МН

Матеріал і розміри валків наведені таблиці № 1,3.

Згідно довідковим даним [5, стор. 94] значення напруг, що допускають, наступні :

ДУО – матеріал валків 50ХН $[\sigma]_з$= 150 МПа

Кліть № 1 - матеріал валків 9ХФ $[\sigma]_з$= 160 МПа

Кліть № 2 - матеріал валків 9ХФ $[\sigma]_з$= 160 МПа

Кліть № 3 - матеріал валків високолегований чавун $[\sigma]_з$= 90 МПа

Кліть № 4 - матеріал валків високолегований чавун $[\sigma]_з$= 90 МПа.

Допускні зусилля прокатки для двох валкової кліті згідно [2, стор.173] розраховуємо по формулі :

$$[P] = \frac{0{,}8 d^3 \bullet [\sigma]_{из}}{2a - в} \quad ; \qquad (3.29)$$

де : d - діаметр валка, м

a - відстань між осями натискних гвинтів, м

в - ширина штаби, що прокатується, м

$$[P] = \frac{0{,}8 \bullet 0{,}81^3 \bullet 150}{2 \bullet 2{,}7 - 0{,}9} = 14{,}17 МН$$

$P_д$<[P]

Для чотирьох валкової кліті допускне зусилля прокатки визначаємо:

1) з умови міцності бочки опорних валків:

$$[P] = \frac{0{,}8 d_{оп}^{\ 3} \bullet [\sigma]_{из}}{2a - L_{б.оп}} \quad ; \qquad (3.30)$$

де: $L_{б.оп}$ – довжина бочки опорного валка, м

$d_{оп}$ – діаметр бочки опорного валка, м

Для сталевих валків 9ХФ

$$[P] = \frac{0{,}8 \bullet 1{,}17^3 \bullet 160}{2 \bullet 2{,}7 - 1{,}68} = 55{,}1 МН$$

2) з умови міцності шейки опорного валка

$$[P] = \frac{0{,}4 d^{\ 3}_{\ ш.оп} \bullet [\sigma]_{из}}{L_{ш.оп}} \quad ; \qquad (3.31)$$

де: $d_{ш.оп}$ і $L_{ш.оп}$ – відповідно діаметр і довжина шейки опорного валка

$$[P] = \frac{0{,}4 \bullet 0{,}65^3 \bullet 160}{0{,}75} = 23{,}4 МН$$

P<[P]

3.1. 3 Розрахунок крутних моментів прокатки.

Крутний момент, створюваний силоміць Р дорівнює:

$M_{пр}$ = Р• а ; (3.32)

Де а - плече рівнодіючої сили Р щодо центра валка (рис. 3.2)

Плече а прийняте визначати як деяку частину довжини вогнища деформації:

$a = \varphi \bullet l$; (3.33)

де ? - коефіцієнт плеча моменту або коефіцієнт плеча зусилля прокатки

У такий спосіб:

$M_{пр}$ = Р• $\varphi \bullet l$; (3.34)

Згідно експериментальним даним Клименко [12, стор. 150]:

Для кліті "ДУО" при $\frac{l_д}{h_{ср\,д}} = 0{,}75$ φ = 0,47

Для кліті № 1 при $\frac{l_1}{h_{ср\,1}} = 1{,}4$ φ = 0,55

Для кліті № 2 при $\frac{l_2}{h_{cp\,2}} = 1{,}45$ φ = 0,55

Для кліті № 3 при $\frac{l_3}{h_{cp\,3}} = 1{,}84$ φ = 0,60

Для кліті № 4 при $\frac{l_4}{h_{cp\,4}} = 2{,}68$ φ = 0,70

Відповідно до вище наведеного:

$M_{пр.д}$ = 4,11 • 0,47 • 0,09439 = 0,18 МН• м

$M_{пр.1}$ = 10,66 • 0,55 • 0,13267 = 0,78 МН• м

$M_{пр.2}$ = 8,08 • 0,55 • 0,09263 = 0,41 МН• м

$M_{пр.3}$ = 9,52 • 0,6 • 0,07804 = 0,45 МН• м

$M_{пр.4}$ = 8,95 • 0,7 • 0,05899 = 0,37 МН• м

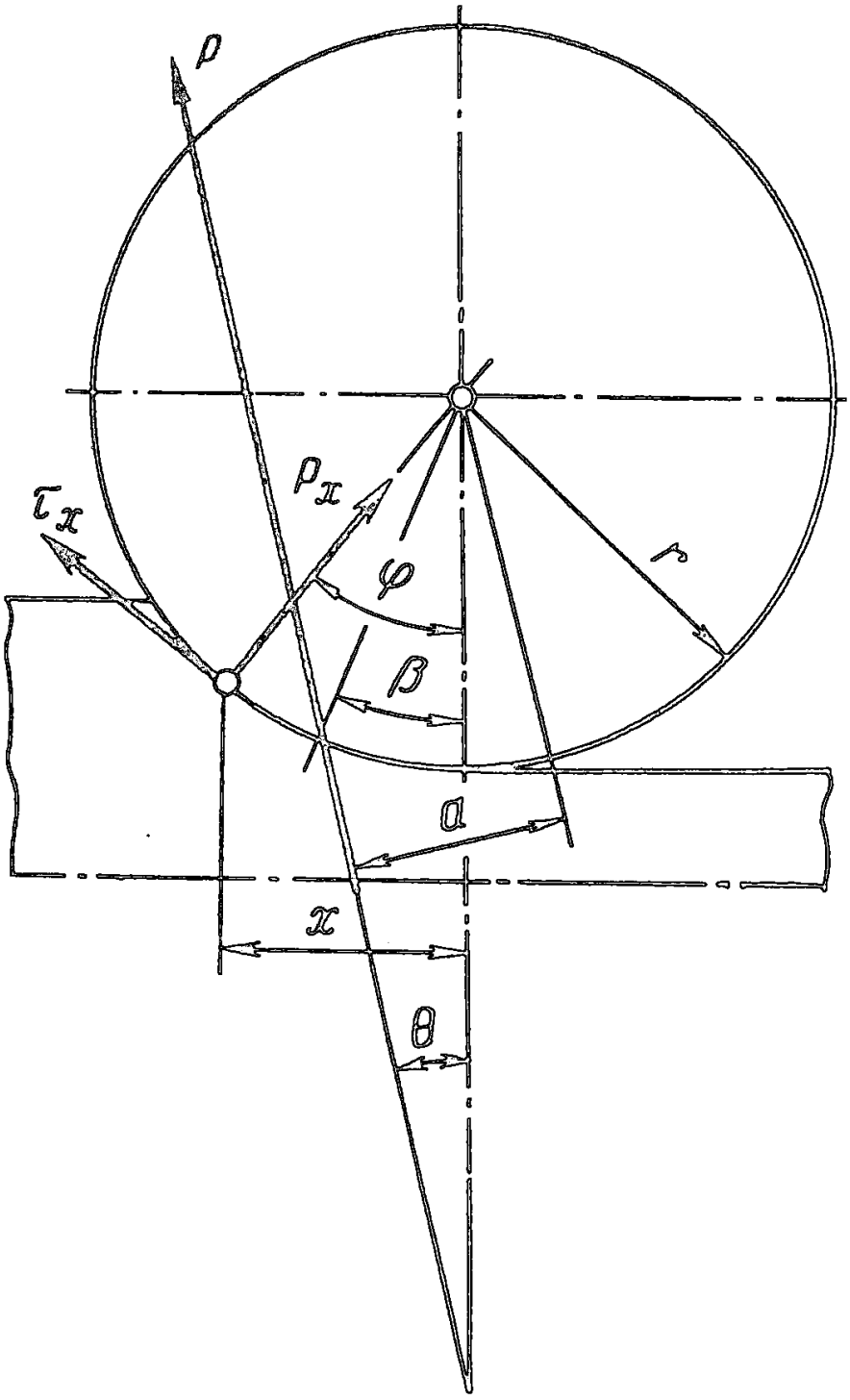


Рисунок 3.2 – Схема дії сил на валок

Припустимий крутний момент визначаємо по формулі:

$$[M_{пр}] = 2\,[P]\,\varphi \cdot l$$

Для кліті "ДУО" $[M_{пр}] = 2 \cdot 14{,}7 \cdot 0{,}47 \cdot 0{,}09439 = 1{,}30$ МН·м

Для кліті № 1 $[M_{пр}] = 2 \cdot 23{,}4 \cdot 0{,}55 \cdot 0{,}13267 = 3{,}42$ МН·м

Для кліті № 2 $[M_{пр}] = 2 \cdot 23,4 \cdot 0,55 \cdot 0,09263 = 2,38$ МН·м

Для кліті № 3 $[M_{пр}] = 2 \cdot 23,4 \cdot 0,6 \cdot 0,07804 = 2,19$ МН·м

Для кліті № 4 $[M_{пр}] = 2 \cdot 23,4 \cdot 0,7 \cdot 0,05899 = 1,93$ МН·м

$$M_{пр} < [M_{пр}]$$

3.1. 4 Температурний режим прокатки.

Для розрахунку температурного режиму прокатки товстих смуг і аркушів можна обмежитися обліком втрат тепла тільки випромінюванням або випромінюванням і конвекцією.

Розрахунок температури прокатки виконаємо використовуючи рівняння Іванцова [2, стор. 169].

$$\Delta t = T_0 - \frac{1000}{\sqrt[3]{\frac{1000}{\left(\frac{T_0}{100}\right)^3} + 0,055\frac{\tau}{h}}}; \qquad (3.35)$$

де T_0 – температура початку охолодження, К

τ - час охолодження, с

h - товщина смуги, мм

Час знаходження розкату в кліті визначимо легко, по його довжині після виходу із кліті й швидкості прокатки:

$$\tau = \frac{L}{V}; \qquad (3.36)$$

$$\tau_д = \frac{L_д}{V_д} = \frac{5,36}{0,69} = 7,77с$$

$$\tau_1 = \frac{L_1}{V_1} = \frac{8,22}{1,02} = 8,06с$$

$$\tau_2 = \frac{L_2}{V_2} = \frac{11,63}{1,04} = 11,18с$$

$$\tau_3 = \frac{L_3}{V_3} = \frac{19,27}{1,79} = 10,77с$$

$$\tau_4 = \frac{L_4}{V_4} = \frac{30,83}{2,86} = 10,78с$$

Отже:

$$\Delta t_{д} = 1470 - \frac{1000}{\sqrt[3]{\frac{1000}{\left(\frac{1470}{100}\right)^3} + 0{,}055\frac{7{,}77}{115}}} = 5{,}7^0 C$$

$$\Delta t_{1} = 1464{,}3 - \frac{1000}{\sqrt[3]{\frac{1000}{\left(\frac{1464{,}3}{100}\right)^3} + 0{,}055\frac{8{,}06}{75}}} = 8{,}9^0 C$$

$$\Delta t_{2} = 1455{,}4 - \frac{1000}{\sqrt[3]{\frac{1000}{\left(\frac{1455{,}4}{100}\right)^3} + 0{,}055\frac{11{,}18}{53}}} = 16{,}9^0 C$$

$$\Delta t_{3} = 1438{,}5 - \frac{1000}{\sqrt[3]{\frac{1000}{\left(\frac{1438{,}5}{100}\right)^3} + 0{,}055\frac{10{,}77}{32}}} = 25{,}5^0 C$$

$$\Delta t_{4} = 1413 - \frac{1000}{\sqrt[3]{\frac{1000}{\left(\frac{1413}{100}\right)^3} + 0{,}055\frac{10{,}78}{20}}} = 37{,}30^0 C$$

Температури розкатів при виході із клітей будуть такими:

$t_д = 1464{,}3 – 273 = 1191{,}3\ ^0C$

$t_1 = 1455{,}4 – 273 = 1182{,}4\ ^0C$

$t_2 = 1438{,}5 – 273 = 1165{,}5\ ^0C$

$t_3 = 1413 – 273 = 1140\ ^0C$

$t_4 = 1375{,}7 – 273 = 1102{,}7\ ^0C$

Величина обтиснень у вертикальних валках універсальних клітей вибирається такий, щоб ліквідувати розширення , отримані при прокатці в горизонтальних валках.

Результати розрахунків зводимо в таблицю 3.2.

Таблиця 3.2 – Режим деформації в клітях чорнової групи.

№ кліті	Температура прокатки, ^{0}C	Швидкість прокатки, м/с	Кут захвата, рад.	Абсолютне обтиснення, мм	Відносне обтиснення, %	Довжина розкату після кліті, м	Довжина осередку деформації, мм.	Середній питомий тиск, МПа	Повний тиск металу на валки, МН	Крутний момент на одному валку, МН• м
ДУО	1191,3	0,69	0,393	22	16,06	5,360	94,39	48,42	4,11	0,18
1	1182,4	1,02	0,379	40	34,78	8,220	132,67	89,24	10,66	0,78
2	1165,5	1,04	0,382	22	29,33	11,630	92,63	96,89	8,08	0,41
3	1140	1,79	0,262	21	39,62	19,270	78,04	135,06	9,52	0,45
4	1102,7	2,86	0,222	12	37,5	30,830	58,99	168,53	8,95	0,37

Технологія прокатки в чистовій групі

3.2. 1 Розрахунок режимів обтиснень.

Температура підкату перед входом у чистову групу становить t =1050 ^{0}C.

Температура кінця прокатки $t_{до}$ = 950 ^{0}C.

При розробці режимів обтиснень у клітях чистової групи використаємо формулу, виведену з умови рівномірного завантаження клітей № 4, 5 і зменшень завантаження двигунів в останніх клітях.

$$h_i = \frac{h_n \bullet h_k}{\left(\nu_i \bullet h_n^m + (1-\nu_i) h_k^m\right)^{\frac{1}{m}}}; \qquad (3.37)$$

де h_i – товщина смуги на виході з і-ої кліті, мм

h_n – товщина підкату перед чистовою групою, мм

h_k – кінцева товщина смуги, мм

ν_i – коефіцієнт завантаження клітей

m - коефіцієнт, що розраховує по емпіричної формулі: $m = 0{,}3 + \frac{0{,}21}{h_k} = 0{,}3 + \frac{0{,}21}{3} = 0{,}37$

Коефіцієнт ν_i вибираємо виходячи з умови, що потужність N, що витрачає на прокатку в перших чотирьох клітях однакова, а в інших двох становить 0,75N і 0,68N.

$\nu_5 = 0{,}149$ $\nu_7 = 0{,}555$ $\nu_9 = 0{,}874$

$\nu_6 = 0{,}331$ $\nu_8 = 0{,}736$ $\nu_{10} = 1$

Отже:

$$h_5 = \frac{20 \bullet 3}{\left(0{,}149 \bullet 20^{0{,}37} + (1-0{,}149) \bullet 3^{0{,}37}\right)^{\frac{1}{0{,}37}}} = 13{,}82 мм$$

$$h_6 = \frac{20 \bullet 3}{\left(0{,}331 \bullet 20^{0{,}37} + (1-0{,}331) \bullet 3^{0{,}37}\right)^{\frac{1}{0{,}37}}} = 9{,}12 мм$$

$$h_7 = \frac{20 \bullet 3}{\left(0{,}552 \bullet 20^{0{,}37} + (1-0{,}552) \bullet 3^{0{,}37}\right)^{\frac{1}{0{,}37}}} = 5{,}98 мм$$

$$h_8 = \frac{20 \bullet 3}{\left(0{,}736 \bullet 20^{0{,}37} + (1-0{,}736) \bullet 3^{0{,}37}\right)^{\frac{1}{0{,}37}}} = 4{,}40 мм$$

$$h_9 = \frac{20 \bullet 3}{\left(0{,}874 \bullet 20^{0{,}37} + (1 - 0{,}874) \bullet 3^{0{,}37}\right)^{\frac{1}{0{,}37}}} = 3{,}26 мм$$

$$h_{10} = \frac{20 \bullet 3}{\left(1 \bullet 20^{0{,}37} + (1 - 1) \bullet 3^{0{,}37}\right)^{\frac{1}{0{,}37}}} = 3 мм$$

Абсолютне обтиснення по клітях визначимо по формулі:

$$\Delta h_i = h_0 - h_i ; \qquad (3.38)$$

де h_0 – товщина підкату на вході в кліть, мм

h_i – товщина підкату на виході з і-ої кліті, мм

$$\Delta h_5 = 20 - 13{,}82 \ = 6{,}18 мм$$

$$\Delta h_6 = 13{,}82 - 9{,}12 = 4{,}7 мм$$

$$\Delta h_7 = 9{,}12 - 5{,}98 = 3{,}14 мм$$

$$\Delta h_8 = 5{,}98 - 4{,}4 = 1{,}58 мм$$

$$\Delta h_9 = 4{,}4 - 3{,}26 = 1{,}14 мм$$

$$\Delta h_{10} = 3{,}26 - 3 = 0{,}26 мм$$

Відносні обтиснення по клітях визначимо по формулі :

$$E_i = \frac{\Delta h_i}{h_0} \bullet 100\% ; \qquad (3.39)$$

$$E_5 = \frac{6{,}18}{20} \bullet 100\% = 30{,}9\%$$

$$E_6 = \frac{4{,}7}{13{,}82} \bullet 100\% = 34\%$$

$$E_7 = \frac{3{,}14}{9{,}12} \bullet 100\% = 34\%$$

$$E_8 = \frac{1{,}58}{5{,}98} \bullet 100\% = 26{,}4\%$$

$$E_9 = \frac{1{,}14}{4{,}4} \bullet 100\% = 25{,}9\%$$

$$E_{10} = \frac{0{,}26}{3{,}26} \bullet 100\% = 7{,}9\%$$

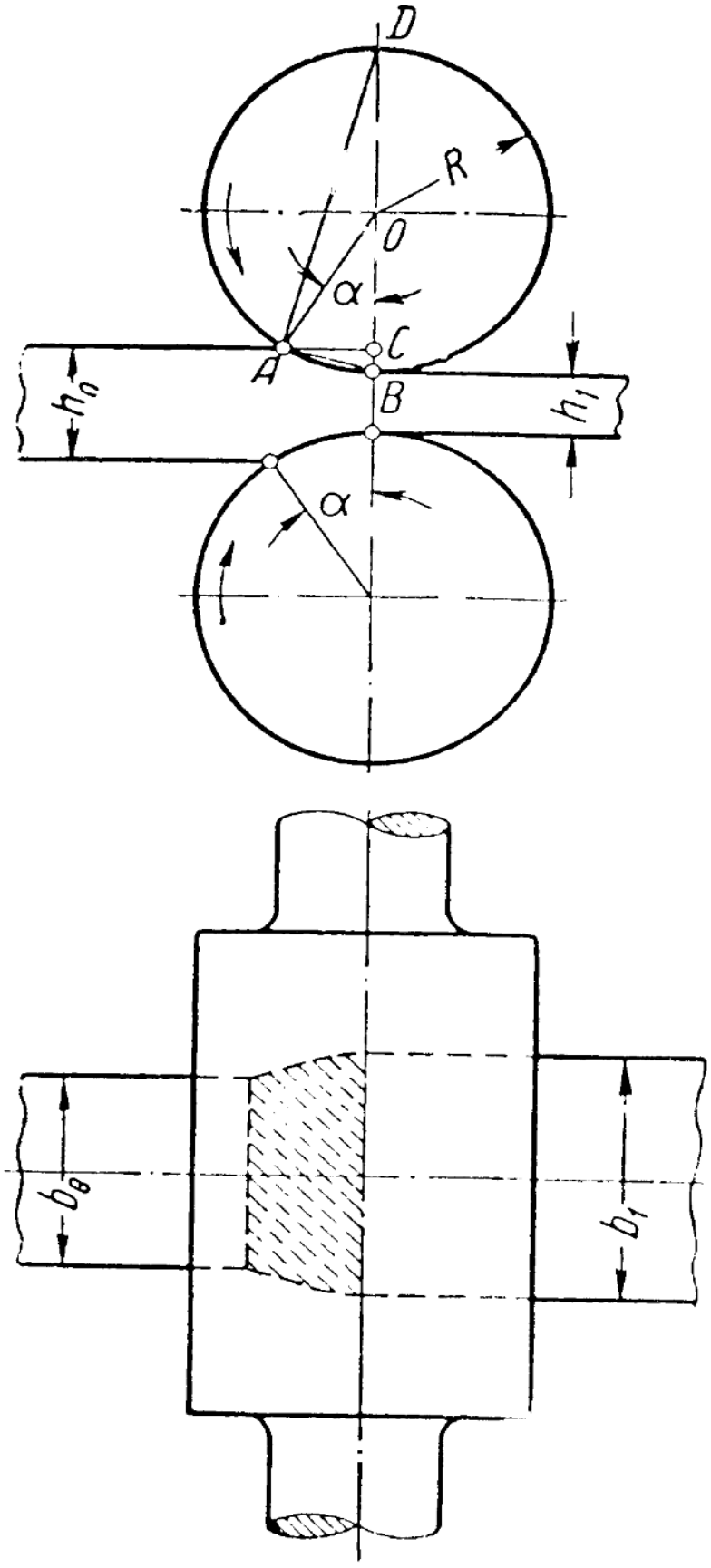


Рисунок 3.3 – Схема прокатки металу у валках

З рівності сталості секундного обсягу й з обліком того, що в безперервній групі клітей $b_1h_1 = b_2h_2$, отримана залежність для розрахунку швидкості прокатки в кожній кліті без обліку випередження.

$$V_{i-1}=\frac{h_i \bullet V_i}{h_{i-1}}; \qquad (3.40)$$

При V_{10}=7 м/с одержимо: $V_9=\frac{h_{10} \bullet V_{10}}{h_9}=\frac{3 \bullet 7}{3,26}=6,44 м/с$

$$V_8=\frac{h_9 \bullet V_9}{h_8}=\frac{3,26 \bullet 6,44}{4,4}=4,77 м/с$$

$$V_7=\frac{h_8 \bullet V_8}{h_7}=\frac{4,4 \bullet 4,77}{5,98}=3,51 м/с$$

$$V_6=\frac{h_7 \bullet V_7}{h_6}=\frac{5,98 \bullet 3,51}{9,12}=2,30 м/с$$

$$V_5=\frac{h_6 \bullet V_6}{h_5}=\frac{9,12 \bullet 2,30}{13,82}=1,52 м/с$$

Певну в такий спосіб швидкість необхідно скорегувати на величину випередження. Швидкість виходу смуги визначають по формулі :

$$V = V_в(1+S); \qquad (3.41)$$

де $V_в$- швидкість отримана без обліку випередження, м/с

S - випередження

Відповідно до запропонованого Екелундом формулі [2, стор. 19]

$$S=\frac{\gamma^2}{2}\left(\frac{d}{h}-1\right); \qquad (3.42)$$

де d - діаметр валків, м

γ - нейтральний кут, радий

h - товщина смуги на виході з валків, м

Нейтральний кут визначимо по залежності :

$$\sin\gamma=\frac{\sin\alpha}{2}-\frac{1-\cos\alpha}{2f}; \qquad (3.43)$$

де f - коефіцієнт тертя

α - кут захвата, рад

Кут захвата визначається по формулі :

$$\alpha = \sqrt{\frac{\Delta h}{R}}; \qquad (3.44)$$

де Δh - абсолютне обтиснення

R - радіус валка, мм

d = 580 мм, отже R = 290 мм.

$$\alpha_5 = \sqrt{\frac{6{,}18}{290}} = 0{,}146\,рад$$

$$\alpha_6 = \sqrt{\frac{4{,}7}{290}} = 0{,}127\,рад$$

$$\alpha_7 = \sqrt{\frac{3{,}14}{290}} = 0{,}104\,рад$$

$$\alpha_8 = \sqrt{\frac{1{,}58}{290}} = 0{,}074\,рад$$

$$\alpha_9 = \sqrt{\frac{1{,}14}{290}} = 0{,}063\,рад$$

$$\alpha_{10} = \sqrt{\frac{0{,}26}{290}} = 0{,}030\,рад$$

Розрахунок коефіцієнта тертя ведемо по формулі Екелунда [8, стор. 247]:

$$\mu = 0{,}8(1{,}05 - 0{,}0005t); \qquad (3.45)$$

де t – температура розкату, ^{0}C.

Температурами розкатів у кожній кліті задаємося приблизно до діючого процесу прокатки з інтервалу 1000 ÷ 900 ^{0}C.

Кліть № 5 – 1050 ^{0}C

Кліть № 6 – 1040 ^{0}C

Кліть № 7 – 1025 ^{0}C

Кліть № 8 – 1000 ^{0}C

Кліть № 9 – 975 ^{0}C

Кліть № 10 – 950 ^{0}C

Підставляючи дані у формулу (3.45) одержимо:

$$\mu_5 = 0{,}8(1{,}05 - 0{,}0005 \bullet 1050) = 0{,}42$$

$$\mu_6 = 0{,}8(1{,}05 - 0{,}0005 \bullet 1040) = 0{,}425$$

$$\mu_7 = 0{,}8(1{,}05 - 0{,}0005 \bullet 1025) = 0{,}43$$

$$\mu_8 = 0{,}8(1{,}05 - 0{,}0005 \bullet 1000) = 0{,}44$$

$$\mu_9 = 0{,}8(1{,}05 - 0{,}0005 \bullet 975) = 0{,}45$$

$$\mu_{10} = 0{,}8(1{,}05 - 0{,}0005 \bullet 950) = 0{,}46$$

Підставляючи у формулу (3.43) значення кутів захвата й коефіцієнтів тертя одержимо:

$$\sin\gamma_5 = \frac{\sin 0{,}146}{2} - \frac{1 - \cos 0{,}146}{2 \bullet 0{,}42} = 0{,}060$$

$$\sin\gamma_6 = \frac{\sin 0{,}127}{2} - \frac{1 - \cos 0{,}127}{2 \bullet 0{,}425} = 0{,}054$$

$$\sin\gamma_7 = \frac{\sin 0{,}104}{2} - \frac{1 - \cos 0{,}104}{2 \bullet 0{,}43} = 0{,}046$$

$$\sin\gamma_8 = \frac{\sin 0{,}074}{2} - \frac{1 - \cos 0{,}074}{2 \bullet 0{,}44} = 0{,}034$$

$$\sin\gamma_9 = \frac{\sin 0{,}063}{2} - \frac{1 - \cos 0{,}063}{2 \bullet 0{,}45} = 0{,}029$$

$$\sin\gamma_{10} = \frac{\sin 0{,}03}{2} - \frac{1 - \cos 0{,}03}{2 \bullet 0{,}46} = 0{,}015$$

Звідси: $\gamma_5 \approx 0{,}060$ $\gamma_7 \approx 0{,}046$ $\gamma_9 \approx 0{,}029$

$\gamma_6 \approx 0{,}054$ $\gamma_8 \approx 0{,}034$ $\gamma_{10} \approx 0{,}015$

Підставляючи, отримані дані у формулу (3.42) одержимо випередження:

$$S_5 = \frac{0{,}060^2}{2}\left(\frac{0{,}58}{0{,}01382} - 1\right) = 0{,}074$$

$$S_6 = \frac{0{,}054^2}{2}\left(\frac{0{,}58}{0{,}00912} - 1\right) = 0{,}091$$

$$S_7 = \frac{0{,}046^2}{2}\left(\frac{0{,}58}{0{,}00598} - 1\right) = 0{,}102$$

$$S_8 = \frac{0{,}034^2}{2}\left(\frac{0{,}58}{0{,}0044} - 1\right) = 0{,}076$$

$$S_9 = \frac{0{,}029^2}{2}\left(\frac{0{,}58}{0{,}00326} - 1\right) = 0{,}074$$

$$S_{10} = \frac{0{,}015^2}{2}\left(\frac{0{,}58}{0{,}003} - 1\right) = 0{,}022$$

Тоді швидкість виходу смуги з урахуванням ковзання:

$$V_5 = 4{,}52(1 + 0{,}074) = 1{,}63 м/с$$

$$V_6 = 2{,}30(1 + 0{,}091) = 2{,}51 м/с$$

$$V_7 = 3{,}51(1 + 0{,}102) = 3{,}87 м/с$$

$$V_8 = 4{,}77(1 + 0{,}076) = 5{,}13 м/с$$

$$V_9 = 6{,}44(1 + 0{,}074) = 6{,}92 м/с$$

$$V_{10} = 7(1 + 0{,}022) = 7{,}15 м/с$$

3.2. 2 Розрахунок енергосилових параметрів прокатки.

Визначаємо середню товщину підкату:

$$h_{cp} = \frac{h_i + h_{i+1}}{2}; \qquad (3.46)$$

де h_i – товщина підкату на вході в кліть, мм

h_{i+1} – товщина підкату на виході із кліті, мм

$$h_{cp5} = \frac{20 + 13{,}82}{2} = 16{,}91 мм$$

$$h_{cp6} = \frac{13{,}82 + 9{,}12}{2} = 11{,}47 мм$$

$$h_{cp7} = \frac{9{,}12 + 5{,}98}{2} = 7{,}55 мм$$

$$h_{cp8} = \frac{5{,}98 + 4{,}4}{2} = 5{,}19 мм$$

$$h_{cp9} = \frac{4{,}4 + 3{,}26}{2} = 3{,}83 мм$$

$$h_{cp10} = \frac{3{,}26 + 3}{2} = 3{,}13 мм$$

Довжину дуги захвата згідно[12, стор.23] визначимо по формулі:

$$l = \sqrt{R\Delta h}; \qquad (3.47)$$

$$l_5 = \sqrt{290 \bullet 6{,}18} = 42{,}33 мм$$
$$l_6 = \sqrt{290 \bullet 4{,}7} = 36{,}92 мм$$
$$l_7 = \sqrt{290 \bullet 3{,}14} = 30{,}18 мм$$
$$l_8 = \sqrt{290 \bullet 1{,}58} = 21{,}41 мм$$
$$l_9 = \sqrt{290 \bullet 1{,}14} = 18{,}18 мм$$
$$l_{10} = \sqrt{290 \bullet 0{,}26} = 8{,}68 мм$$

Визначаємо відношення довжини дуги захвата до середньої товщини підкату:

$$\frac{l_5}{h_{cp5}} = \frac{42{,}33}{16{,}91} = 2{,}50$$
$$\frac{l_6}{h_{cp6}} = \frac{36{,}92}{11{,}47} = 3{,}22$$
$$\frac{l_7}{h_{cp7}} = \frac{30{,}18}{7{,}55} = 4{,}00$$
$$\frac{l_8}{h_{cp8}} = \frac{21{,}41}{5{,}19} = 4{,}13$$
$$\frac{l_9}{h_{cp9}} = \frac{18{,}18}{3{,}83} = 4{,}75$$
$$\frac{l_{10}}{h_{cp10}} = \frac{8{,}68}{3{,}13} = 2{,}77$$

Розрахунок енергосилових параметрів 5-ої кліті:

Для кліті №5 при $\frac{l_5}{h_{cp5}} = 2{,}50$. Розрахунок середнього контактного тиску виконуємо по формулі Бровмана [13, стор. 633] тому що $\frac{l}{h_{cp}} > 2$.

$$P_{cp} = 1{,}15\sigma_T \left(0{,}75 + 0{,}25\frac{l}{h_{cp}}\right); \quad (3.48)$$

де σ_T – границя текучості металу, що прокочує, відповідним реальним умовам обробки.

$$\sigma_T = \sigma_0 \bullet \kappa_t \bullet \kappa_E \bullet \kappa_u \quad (3.49)$$

де σ_0 – базисний опір деформації,

$\kappa_t, \kappa_E, \kappa_u$ - термомеханічні коефіцієнти відповідно враховуючу температуру, ступінь і швидкість деформації.

Базисне значення σ_0 і коефіцієнтів $\kappa_t, \kappa_E, \kappa_u$ наведені в літературі [10, стор. 335].

Для нержавіючої сталі ДИ61В (10Х18Н10Т) $\sigma_0 = 95$ МПа

При t = 1050 ^{0}С $\quad \kappa_t = 0,94$

E = 30,9 % $\quad \kappa_E = 1,33$

Для визначення середньої швидкості деформації застосовуємо формулу Екелунда [12, стор.81]:

$$U_{ср} = \frac{V \bullet \alpha}{l} ; \qquad (3.50)$$

Тоді формула (3.50) прикмет вид:

$$U_{ср5} = \frac{V_5 \bullet \alpha_5}{l_5} ; \qquad (3.51)$$

де $\alpha_5 = 0,146 рад$

$V_5 = 1,63 м/с$

$l_5 = 42,33 мм$

$$U_{ср5} = \frac{1,63 \bullet 0,146}{0,04233} = 5,62 c^{-1}$$

κ_u=0,94

$$\sigma_T = 95 \bullet 0,94 \bullet 1,33 \bullet 0,94 = 111,64 МПа$$

$$P_{ср5} = 1,15 \bullet 111,64 (0,75 + 0,25 \bullet 2,50) = 176,53 МПа$$

Вплив натягу кінців смуги на тиск урахуємо додатково за допомогою формули:

$$P_{ср} = P'_{ср}\left(1 - \frac{\delta_0 + \delta_1}{2P'_{ср}}\right) ; \qquad (3.52)$$

де $P'_{ср}$ – середній контактний тиск розраховане без обліку натягу, МПа

$\delta_0 и \delta_1$ – відповідно задній і передні питомий натяг, МПа

Однак в 5-ої кліті задні натяг відсутнє, а передні невелико , тому можна їм зневажити.

Повне зусилля прокатки визначаємо по формулі:

$P = P_{ср} \bullet B \bullet l_{\partial}$; (3.53)

де В - ширина матеріалу, що прокочує, м

$P_5 = 176,53 \bullet 0,9 \bullet 0,04233 = 6,73$ МН

Крутний момент, створюваний силоміць Р дорівнює:

$M_{пр} = P \bullet a$; (3.54)

де а - плече рівнодіючої сили Р щодо центра валка (рис. 3.2)

Плече а прийняте визначати як деяку частину довжини вогнища деформації:

$a = \varphi \bullet l$; (3.55)

де ? - коефіцієнт плеча моменту або коефіцієнт плеча зусилля прокатки

У такий спосіб:

$M_{пр} = P \bullet \varphi \bullet l$; (3.56)

φ - коефіцієнт плеча моменту згідно [13, стор.232] визначимо по формулі:

$$\varphi = 0,498 - 0,028\frac{l}{h_{ср}};$$

Тоді підставляючи чисельні значення у формулу одержимо:

$$\varphi = 0,498 - 0,028\frac{42,33}{16,91} = 0,43$$

Отже $M_{пр5} = 6,73 \bullet 0,43 \bullet 0,04233 = 0,12$ МН• м

Розрахунок енергосилових параметрів в інших клітях чистової групи ведемо аналогічно 5-ої кліті але з обліком переднього й заднього натягу смуги.

Кліть № 6:

Натяги $\delta_0 и \delta_1$ наведені в [1, стор. 28]:

$\delta_0 = 1,7 МПа$

$\delta_1 = 4,3 МПа$

Температуру прокатки визначимо по формулі :

$$t = t_{пк} - \frac{(t_{пк} - t_к)h_к}{h_п - h_к}\left(\frac{h_п}{h} - 1\right);$$ (3.57)

де $t_{пк}$ – температура підкату,^{0}C

$t_к$ – температура кінця прокатки,^{0}C

$h_п$ – товщина підкату, мм

$h_к$ – товщина кінця прокатки, мм

$$t_6 = 1050 - \frac{(1050-950)3}{20-3}\left(\frac{20}{9{,}12}-1\right) \approx 1029^0 C \qquad к_t = 0{,}96$$

E = 34 % $\qquad$ $к_E = 1{,}36$

$$U_{ср6} = \frac{2{,}51 \bullet 0{,}127}{0{,}03692} = 8{,}63c^{-1} \qquad к_u = 0{,}97$$

$$\sigma_T = 95 \bullet 0{,}96 \bullet 1{,}36 \bullet 0{,}97 = 120{,}3МПа$$

$$P'_{ср6} = 1{,}15 \bullet 120{,}3(0{,}75 + 0{,}25 \bullet 3{,}22) = 215{,}13МПа$$

$$P_{ср} = 215{,}13\left(1 - \frac{1{,}7+4{,}3}{2 \bullet 215{,}13}\right) = 212{,}1МПа$$

$P_6 = 212{,}1 \bullet 0{,}9 \bullet 0{,}03692 = 7{,}05$ МН

$$\varphi = 0{,}498 - 0{,}028 \bullet 3{,}22 = 0{,}41$$

$M_{пр6} = 7{,}05 \bullet 0{,}41 \bullet 0{,}03692 = 0{,}11$ МН• м

Кліть № 7:

$\delta_0 = 4{,}3МПа$

$\delta_1 = 5{,}2МПа$

$$t_7 = 1050 - \frac{(1050-950)3}{20-3}\left(\frac{20}{5{,}98}-1\right) = 1008{,}6^0 C \qquad к_t = 1{,}01$$

E = 34 % $\qquad$ $к_E = 1{,}36$

$$U_{ср7} = \frac{3{,}87 \bullet 0{,}104}{0{,}03018} = 13{,}34c^{-1} \qquad к_u = 1{,}06$$

$$\sigma_T = 95 \bullet 1{,}01 \bullet 1{,}36 \bullet 1{,}06 = 138{,}3МПа$$

$$P'_{ар7} = 1{,}15 \bullet 138{,}3(0{,}75 + 0{,}25 \bullet 4{,}00) = 278{,}3МПа$$

$$P_{ср} = 278{,}3\left(1 - \frac{4{,}3+5{,}2}{2 \bullet 278{,}3}\right) = 273{,}55МПа$$

$P_7 = 273{,}55 \bullet 0{,}9 \bullet 0{,}03018 = 7{,}43$ МН

$\varphi = 0{,}498 - 0{,}028 \bullet 4{,}00 = 0{,}39$

$M_{пр7} = 7{,}43 \bullet 0{,}39 \bullet 0{,}03018 = 90$ кН• м

Кліть № 8:

$\delta_0 = 5{,}2 МПа$

$\delta_1 = 9{,}4 МПа$

$$t_8 = 1050 - \frac{(1050-950)3}{20-3}\left(\frac{20}{4{,}4} - 1\right) = 987{,}4^0 C$$

$к_t = 1{,}17$

$E = 24{,}6$ % $к_E = 1{,}28$

$$U_{ср8} = \frac{5{,}13 \bullet 0{,}074}{0{,}02141} = 17{,}73 c^{-1}$$

$к_u = 1{,}10$

$$\sigma_T = 95 \bullet 1{,}10 \bullet 1{,}28 \bullet 1{,}17 = 156{,}5 МПа$$

$$P'_{ср8} = 1{,}15 \bullet 156{,}5(0{,}75 + 0{,}25 \bullet 4{,}13) = 320{,}8 МПа$$

$$P_{ср} = 320{,}8\left(1 - \frac{5{,}2 + 9{,}4}{2 \bullet 320{,}8}\right) = 313{,}5 МПа$$

$P_8 = 313{,}5 \bullet 0{,}9 \bullet 0{,}02141 = 6{,}04$ МН

$\varphi = 0{,}498 - 0{,}028 \bullet 4{,}13 = 0{,}38$

$M_{пр8} = 6{,}04 \bullet 0{,}38 \bullet 0{,}02141 = 55$ кН• м

Кліть № 9:

$\delta_0 = 9{,}4 МПа$

$\delta_1 = 4{,}6 МПа$

$$t_7 = 1000 - \frac{(1000-900)3}{20-3}\left(\frac{20}{3{,}26} - 1\right) = 911{,}8^0 C$$

$к_t = 1{,}28$

$E = 25{,}9$ % $к_E = 1{,}26$

$$U_{ср9} = \frac{6{,}92 \bullet 0{,}063}{0{,}01818} = 24 c^{-1}$$

$к_u = 1{,}12$

$$\sigma_T = 95 \bullet 1{,}12 \bullet 1{,}26 \bullet 1{,}28 = 171{,}6 МПа$$

$$P'_{ср9} = 1{,}15 \bullet 171{,}6(0{,}75 + 0{,}25 \bullet 4{,}75) = 382{,}4 МПа$$

$$P_{ср} = 382{,}4\left(1 - \frac{9{,}4 + 4{,}6}{2 \bullet 382{,}4}\right) = 375{,}4 МПа$$

$P_9 = 375{,}4 \cdot 0{,}9 \cdot 0{,}01818 = 6{,}14$ МН

$\varphi = 0{,}498 - 0{,}028 \bullet 4{,}75 = 0{,}37$

$M_{пр9} = 6{,}14 \cdot 0{,}37 \cdot 0{,}01818 = 41$ кН• м

Кліть № 10:

$\delta_0 = 4{,}6 МПа$

$\delta_1 = 0$

$$t_{10} = 1050 - \frac{(1050 - 950)3}{20 - 3}\left(\frac{20}{3} - 1\right) = 950^0 C \qquad к_t = 1{,}34$$

$E = 7{,}9$ % $\qquad к_E = 0{,}96$

$$U_{ср10} = \frac{7{,}15 \bullet 0{,}030}{0{,}00868} = 24{,}7 c^{-1} \qquad к_u = 1{,}125$$

$\sigma_T = 95 \bullet 1{,}125 \bullet 0{,}96 \bullet 1{,}34 = 137{,}5 МПа$

$$P'_{ср10} = 1{,}15 \bullet 137{,}5(0{,}75 + 0{,}25 \bullet 2{,}77) = 228{,}1 МПа$$

$$P_{ср} = 228{,}1\left(1 - \frac{4{,}6}{2 \bullet 228{,}1}\right) = 225{,}8 МПа$$

$P_{10} = 225{,}8 \cdot 0{,}9 \cdot 0{,}00868 = 1{,}76$ МН

$\varphi = 0{,}498 - 0{,}028 \bullet 2{,}77 = 0{,}42$

$M_{пр10} = 1{,}76 \cdot 0{,}42 \cdot 0{,}00868 = 6{,}4$ кН• м

Результати розрахунків зводимо в таблицю 3.3

Таблиця 3.3 –Режим деформації в клітях чистової групи.

№ кліті	Температура Прокатки, ^{0}C	Швидкість прокатки, м/с	Кут захвату, рад.	Абсолютне обтиснення, мм	Відносне обтиснення, %	Довжина осередку деформації, мм.	Середній питомий тиск, МПа	Повний тиск металу на валки, МН	Крутний момент на одному валку, МН• м
5	1050	1,63	0,146	6,18	30,9	42,33	176,53	6,73	0,12
6	1029	2,51	0,127	4,7	34	36,92	212,1	7,05	0,11
7	1008,6	3,87	0,104	3,14	34	30,18	273,55	7,43	0,09
8	987,4	5,13	0,074	1,58	26,4	21,41	313,5	6,04	0,055
9	911,8	6,92	0,063	1,14	25,9	18,18	375,4	6,14	0,041
10	950	7,15	0,030	0,26	7,9	8,68	225,8	1,76	0,0064

Технологія прокатки у вертикальних валках

Вертикальні валки призначені для бічного обтиснення сляба і вирівнювання бічних крайок штаби, що прокатується.

Розрахункові величини обтиснень по кожнійій із клітей згідно припустимих відносних обтиснень у клітях чорнової групи визначається по формулі:

$$\Delta b_{p.max.i} = b_{i-1} \bullet E_{max.i}; \quad (3.58)$$

де $E_{max.i}$ – припустиме відносне обтиснення;

b_{i-1} – ширина смуги до прокатки, мм.

Підставляючи чисельні значення у формулу (3.58) одержимо наступні припустимі відносні обтиснення:

$$\Delta b_{p.max.1} = 915 \bullet 0{,}015 = 13{,}73 мм$$

$$\Delta b_{p.max.2} = 910 \bullet 0{,}01 = 9{,}10 мм$$

$$\Delta b_{p.max.3} = 905 \bullet 0{,}0075 = 6{,}79 мм$$

Приймаємо E_1 =0,55 % тоді:

Δb_1= 915 – 910 = 5 мм

Приймаємо E_2 = 0,55% тоді:

Δb_2= 910 – 905 = 5 мм

Приймаємо E_3 = 0,55% тоді:

Δb_3= 905 – 900 = 5 мм.

Швидкість прокатки в клітях вертикальних валків повинна бути дорівнює швидкості заднього кінця смуги при прокатці в клітях з горизонтальними валками й підраховується по формулі [7, стор. 50]:

$$V_{эдж} = \frac{V_{кл} \bullet h_1}{h_0}; \quad (3.59)$$

де: h_0 – товщина смуги до прокатки, мм;

h_1 – товщина смуги після кліті, у якої встановлена кліть вертикальних валків, мм.

Підставляючи чисельні значення у формулу (3.59) знайдемо швидкості прокатки в клітях вертикальних валків:

$$V_{эдж.1} = \frac{1{,}04 \bullet 53}{75} = 0{,}74 м/с$$

$$V_{эдж.2} = \frac{1{,}79 \bullet 32}{53} = 1{,}08 м/с$$

$$V_{эдж.3} = \frac{2{,}86 \bullet 20}{32} = 1{,}79 м/с$$

Результати розрахунків зводимо в таблицю 3.4

Таблиця 3.4 – Обтиснення вертикальної кліті.

№ вертикальної кліті	Розрахункове обтиснення, мм	Припустиме обтиснення, мм	Швидкість прокатки у кліті, м/с
1	5	13,73	0,74
2	5	9,10	1,08
3	5	6,79	1,79

3.2 Математичне моделювання температурного поля прокатки

З метою вивчення впливу режиму прокатки на температурне поле прокатуємого металу використовуємо повний факторний експеримент по методу Бокса-Уілсона.

Фактори:

X_1 – час паузи у 9-му проході, с;

X_2 – температура нагрівання сталі під прокатку, ^oC;

X_3 – час паузи у 10-му проході, с;

Параметри оптимізації:

Y_1 – середня температура прокатки, ^oC.

Y_2 – максимальна температура прокатки, ^oC;

Y_3 – мінімальна температура прокатки, ^oC.

Y_4 – зусилля прокатки, кН.

Досліджувані фактори, характер їхніх змін і схеми кодування приведені в таблиці 3.5

Таблиця 3.5 – Досліджувані фактори

Характеристика	Фактори		
	X_1	X_2	X_3
Основний рівень	35	1225	35
Інтервал варіювання	25	25	25
Нижній рівень (кодовані значення –1, –)	10	1200	10
Верхній рівень (кодовані значення +1, +)	60	1250	60

Таблиця 3.6 – Умови проведення дослідів (план експерименту)

Номер досліду	Значення факторів в кодованому вигляді			
	X_0	X_1	X_2	X_3
1	+	+	+	+
2	+	–	+	+
3	+	+	–	+
4	+	–	–	+
5	+	+	+	–
6	+	–	+	–
7	+	+	–	–
8	+	–	–	–

Фактор, позначений "X_0" – так називаємо фіктивну перемінну – уводимо для розрахунку вільного члена шуканої моделі – коефіцієнт "b_0".

Після складання таблиці перевіряємо правильність її заповнення. Умова симетричності репліки вимагає, щоб у кожнім стовпці утримувалося рівне число мінусів і плюсів. Умова виконується.

Для побудови плану дробового факторного експерименту в роботі [1] з таблиці 3.6 вибираємо дробову репліку наступного вигляду: abc, c, a, b. Записуємо дробову репліку в розгорненому вигляді (табл. 3.7).

Таблиця 3.7 – Умови проведення дослідів (план експерименту)

Номер досліду	Значення факторів в закодованому вигляді			
	X_0	X_1	X_2	X_3
1	+	+	+	+
2	+	–	–	+
3	+	+	–	–
4	+	–	+	–

Реалізація плану експерименту. Для визначення помилки експерименту досліди варто дублювати. Частіше дублюють не всі досліди, а тільки досліди на основному рівні. У цьому випадку розрахунок дисперсії досліду S_y проводимо по формулі:

$$S_y^2 = \sum_{i=1}^{n} \frac{(Yoi - Yo)^2}{f_1} \tag{3.60}$$

де n – кількість дублів на основному рівні;

i – номер дублю;

Y_{oi} – значення параметра оптимізації в і-ом дублі;

Y_o – середнє арифметичне результатів усіх дублів;

f_1 – число ступіней свободи ($f_1 = n - 1$).

Для визначення дисперсії досліду були організовано досліди 5-7 на основному рівні. При цьому отримані наступні значення параметра оптимізації:

досвід 5 – 1062; досвід 6 – 1068; досвід 7 – 1067.

Визначаємо S_y^2. Будуємо розрахункову таблицю 3.8.

Таблиця 3.8 – Розрахункова таблиця дисперсії досліду

Дослід	y_e	$\lvert y_{oe} - y_o \rvert$	Δy_e^2	$\sum \Delta y$
5	1062	3,66667	13,44444	
6	1068	2,333333	5,444444	20,66667
7	1067	1,333333	1,777778	
	y_0 = 1065,667			

Тоді

$$S_y^2 = \sum_{i=1}^{n} \frac{(Yoi - Yo)}{f_1} = \frac{20{,}66667}{3-1} = 10{,}33333;$$

Побудова математичної моделі. Після реалізації всіх дослідів матриці планування по їхніх результатах будують математичну модель

досліджуваного процесу. Для цього при використанні ДФЕ розраховуємо коефіцієнти регресії рівняння по формулі:

$$b_j = \sum_{j=1}^{n} \frac{X_{jn} \cdot Y_n}{N} \tag{3.61}$$

де b_j – значення j-го коефіцієнту регресії;

X_{jn} – значення j-го фактору в n-ом досліді в кодованому вигляді;

Y_n – значення параметру оптимізації в n-ом досліді;

N – число дослідів в матриці планування.

В результаті отримуємо модель, котра має наступний вигляд:

$$Y = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2 + b_3 X_3 + ... + b_j X_j$$

В реалізації матриці планування отримані слідуючи результати (табл. 3.9).

Таблиця 3.9 – Результати дослідів

№№	1	2	3	4
T_{av}, °C	1095,6	1127,4	1122,5	1157,5
T_{max}, °C	1170,9	1189,7	1195,1	1203,2
T_{min}, °C	1015,1	1040,9	1028,8	1069,3
P, kH	1037,0	842,9	937,6	701,8

По формулі розраховуємо коефіцієнти регресії шуканих моделей:

$$b_0 = 1/4 \cdot [1095{,}6 + 1127{,}4 + 1122{,}5 + 1157{,}5] = 1125{,}78;$$

$$b_1 = 1/4 \cdot [1095{,}6 - 1127{,}4 + 1122{,}5 - 1157{,}5] = -16{,}7;$$

$$b_2 = 1/4 \cdot [1095{,}6 - 1127{,}4 - 1122{,}5 + 1157{,}5] = 0{,}8;$$

$$b_3 = 1/4 \cdot [1095{,}6 + 1127{,}4 - 1122{,}5 - 1157{,}5] = -14{,}25;$$

Таким чином, отримана лінійна модель має попередньо наступний вид:

$$Y_1 = 1125{,}78 - 16{,}7 \cdot X_1 + 0{,}8 \cdot X_2 - 14{,}25 \cdot X_3$$

Аналогічно розрахуємо лінійні моделі для інших параметрів оптимізації.

$$b_0 = 1/4 \cdot [1170{,}9 + 1189{,}7 + 1195{,}1 + 1203{,}2] = 1189{,}73;$$

$$b_1 = 1/4 \cdot [1170{,}9 - 1189{,}7 + 1195{,}1 - 1203{,}2] = -6{,}73;$$

$$b_2 = 1/4 \cdot [1170{,}9 - 1189{,}7 - 1195{,}1 + 1203{,}2] = 2{,}68;$$

$$b_3 = 1/4 \cdot [1170{,}9 + 1189{,}7 - 1195{,}1 - 1203{,}2] = -9{,}58;$$

Таким чином, отримана лінійна модель має попередньо наступний вид:

$$Y_2 = 1189{,}73 - 6{,}73 \cdot X_1 + 2{,}68 \cdot X_2 - 9{,}58 \cdot X_3$$

Розраховуємо коефіцієнти регресії шуканих моделей

$$b_0 = 1/4 \cdot [1015{,}1 + 1040{,}9 + 1028{,}8 + 1069{,}3] = 1038{,}53;$$

$$b_1 = 1/4 \cdot [1015{,}1 - 1040{,}9 + 1028{,}8 - 1069{,}3] = -16{,}56;$$

$$b_2 = 1/4 \cdot [1015{,}1 - 1040{,}9 - 1028{,}8 + 1069{,}3] = 3{,}68;$$

$$b_3 = 1/4 \cdot [1015{,}1 + 1040{,}9 - 1028{,}8 - 1069{,}3] = -10{,}54;$$

Таким чином, отримана лінійна модель має попередньо наступний вид:

$$Y_3 = 1038{,}53 - 16{,}56 \cdot X_1 + 3{,}68 \cdot X_2 - 10{,}54 \cdot X_3$$

Розраховуємо коефіцієнти регресії шуканих моделей

$$b_0 = 1/4 \cdot [1037{,}0 + 842{,}9 + 937{,}6 + 701{,}8] = 879{,}83;$$

$$b_1 = 1/4 \cdot [1037{,}0 - 842{,}9 + 937{,}6 - 701{,}8] = 107{,}48;$$

$$b_2 = 1/4 \cdot [1037{,}0 - 842{,}9 - 937{,}6 + 701{,}8] = -10{,}43;$$

$$b_3 = 1/4 \cdot [1037{,}0 + 842{,}9 - 937{,}6 - 701{,}8] = 60{,}13;$$

Таким чином, отримана лінійна модель має попередньо наступний вид:

$$Y_4 = 879{,}83 + 107{,}48 \cdot X_1 - 10{,}43 \cdot X_2 + 60{,}13 \cdot X_3$$

Статистичний аналіз моделі. Метою аналізу є перевірка придатності моделі для її використання при описі досліджуваного об'єкта.

Аналіз складається з двох етапів. На першому етапі перевіряємо статистичну значимість коефіцієнтів регресії. У статистику прийнято здійснювати перевірку значимості коефіцієнтів регресії за допомогою критерію Ст'юдента. Для цього розраховуємо довірчий інтервал коефіцієнтів

$$\Delta b_i = t_{\alpha, f_1} \cdot S_{bi} \qquad (3.62)$$

де S_{bi} – середньоквадратична помилка у визначенні коефіцієнтів регресії;

$$S_{bi} = \sqrt{\frac{S_y^2}{N}} \tag{3.63}$$

$t_{\alpha,f1}$ – значення критерію Ст'юдента, що вибирається в залежності від рівня значимості і числа ступенів волі при визначенні дисперсії досліду f_1.

На другому етапі остаточно отримане рівняння перевіряємо на адекватність, тобто його придатність для опису об'єкта дослідження.

Розрахуємо довірчий інтервал коефіцієнтів регресії. Для цього спочатку визначимо S_{bi}.

$$S_{bi} = \sqrt{\frac{10{,}33333}{4}} = \pm 1{,}607275$$

Вибираємо для $\alpha = 0{,}05$ и $f_1 = 2$ значення критерію Ст'юдента, рівне 4,3. Визначаємо довірчий інтервал:

$$\Delta b_i = \pm 4{,}3 \cdot 1{,}607275 = \pm 6{,}9;$$

У такий спосіб у всіх випадках, в отриманих рівняннях коефіцієнт "b_2" виявився статично не значимий, і рівняння здобувають остаточно наступний вид:

$$Y_1 = 1125{,}78 - 16{,}7 \cdot X_1 - 14{,}25 \cdot X_3;$$

Аналогічно розрахуємо лінійні моделі для інших параметрів оптимізації.

$$Y_2 = 1189{,}73 - 6{,}73 \cdot X_1 - 9{,}58 \cdot X_3$$

$$Y_3 = 1038{,}53 - 16{,}56 \cdot X_1 - 10{,}54 \cdot X_3$$

$$Y_4 = 879{,}83 + 107{,}48 \cdot X_1 + 60{,}13 \cdot X_3$$

Тепер перевіряємо адекватність отриманих моделей у цілому. Для цього підставляємо в отримане рівняння послідовно для всіх дослідів значення "Xi" у кодованому виді, що беремо з таблиці 4. Для визначення дисперсності неадекватності складаємо розрахункову таблицю 5. Таблиця 5. складаємо виходячи з алгоритму перевірки отриманого рівняння на адекватність, тобто його придатності для опису об'єкта дослідження. Послідовність перевірки така:

1. По отриманій моделі визначають по черзі для всіх досвідів матриці планування розрахункові значення параметра оптимізації. Для цього в рівняння підставляємо значення факторів у кодованому виді;

2. По формулі одержуємо оцінку дисперсії неадекватності:

$$S^2_{неад} = \frac{\sum_{n=1}^{N}\left(y_n^{экспер} - y_n^{расч}\right)^2}{f_2} \tag{3.64}$$

де $f_2 = N - K'$, K' – число коефіцієнтів моделі, включи b_0.

3. Визначають розрахункове значення критерію Фішера порівнюють з табличним, котре вибирають з таблиці у залежності від рівня значимості і числа ступенів волі f_1, f_2.

$$F^{расч}_{f1,f2} = \frac{S^2_{неад}}{S^2_y} \tag{3.65}$$

Таблиця 3.10 – Розрахунок дисперсії неадекватності

Дослід	Значення y		$\lvert\Delta y\rvert$	Δy^2	Σ
	експер.	розрах.			
1	1095,6	1095,63	0,03	0,0009	
2	1127,4	1127,43	0,03	0,0009	0,0036
3	1122,5	1122,53	0,03	0,0009	
4	1157,5	1157,53	0,03	0,0009	

$$S^2_{неад} = \frac{0{,}0036}{8-4} = 0{,}0009; \qquad F^{расч}_{f1,f2} = \frac{0{,}0036}{10{,}33333} = 0{,}000087;$$

З таблиці для $\alpha = 0{,}05$; $f_1 = 2$ і $f_2 = 4$ знаходимо табличне значення критерію Фішера, рівне 19,25. Таким чином, умова адекватності моделі виконується і нею можна користуватися для розрахунку значень оптимізуємих параметрів. При цьому варто пам'ятати, що отримана модель описує процес впливання факторів на оптимізуємі параметри тільки у вивчених межах варіювання факторів.

Аналогічно проводимо перевірку критерію Фішера для інших лінійних моделей.

Інтерпретація результатів. Отримана адекватна модель дозволяє розрахувати значення параметра оптимізації для будь-якої крапки вивченого

факторного простору. Крім того, отриману залежність можна представити графічно у виді впливу окремих факторів на параметр оптимізації. При цьому звичайно будують залежність $y = f(x_i)$ за умови, що всі інші фактори фіксують на постійному рівні. Тоді підставляємо в дане рівняння значення фактора X_2 і X_3 у кодованому виді (зі знаком "-"). Потім у перетворене (спрощене) рівняння підставляємо послідовно значення фактора X_1 на нижньому, основному і верхньому рівнях, тобто -1; 0; +1 і одержуємо шуканий графік.

Представимо графічну залежність середньої температури прокатки від часу паузи у 9-й кліті (фактор X_1) для випадку, коли інші Xj = 0. Тоді рівняння прийме вид:

$Y_1 = 1125{,}78 - 16{,}7 \cdot X_1$; Визначимо у для випадків, коли X_1 = -1; 0; +1. Підставимо ці значення в рівняння. Одержимо відповідно значення у , рівні:

y_1=1442,48; y_2=1125,78; y_3=1109,08.

Аналогічно представимо графічну залежність середньої температури прокатки від часу прокатки у 10-й кліті (фактор X_3) для випадку, коли інші Xj = 0. Тоді рівняння прийме вид:

$Y_1 = 1125{,}78 - 14{,}25 \cdot X_3$; Визначимо в для випадків, коли X_3 = -1; 0; +1. Підставимо ці значення в рівняння. Одержимо відповідно значення в, рівні:

y_1=1140,03; y_2=1125,78; y_3=1111,53.

Будуємо графічні залежності (див. рис. 3.4–3.11).

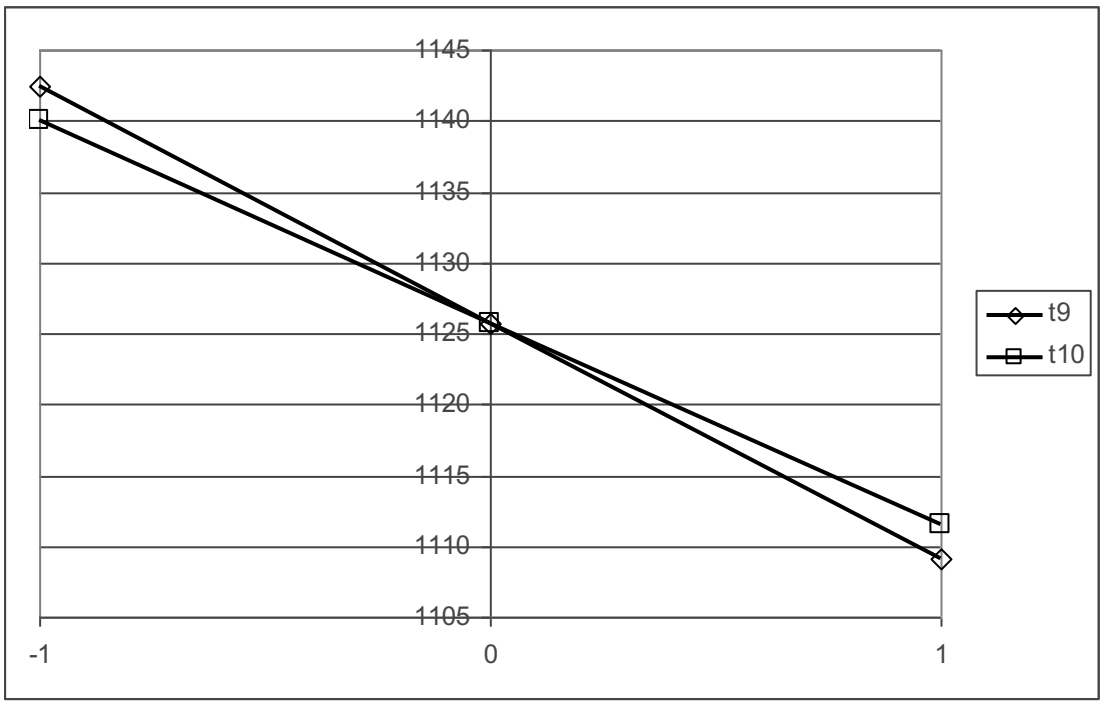


Рисунок 3.4 – Графічна залежність середньої температури прокатки від часу паузи у 9-й та 10-й кліті в кодованому виді

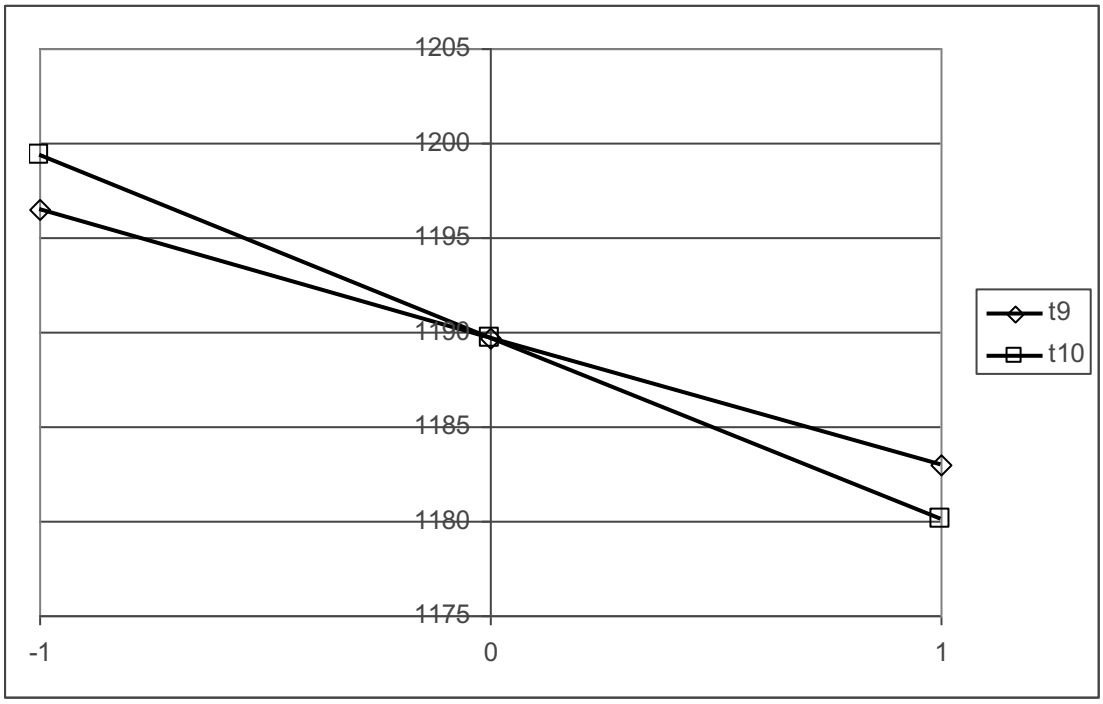


Рисунок 3.5 – Графічна залежність максимальної температури прокатки від часу паузи у 9-й та 10-й кліті в кодованому виді

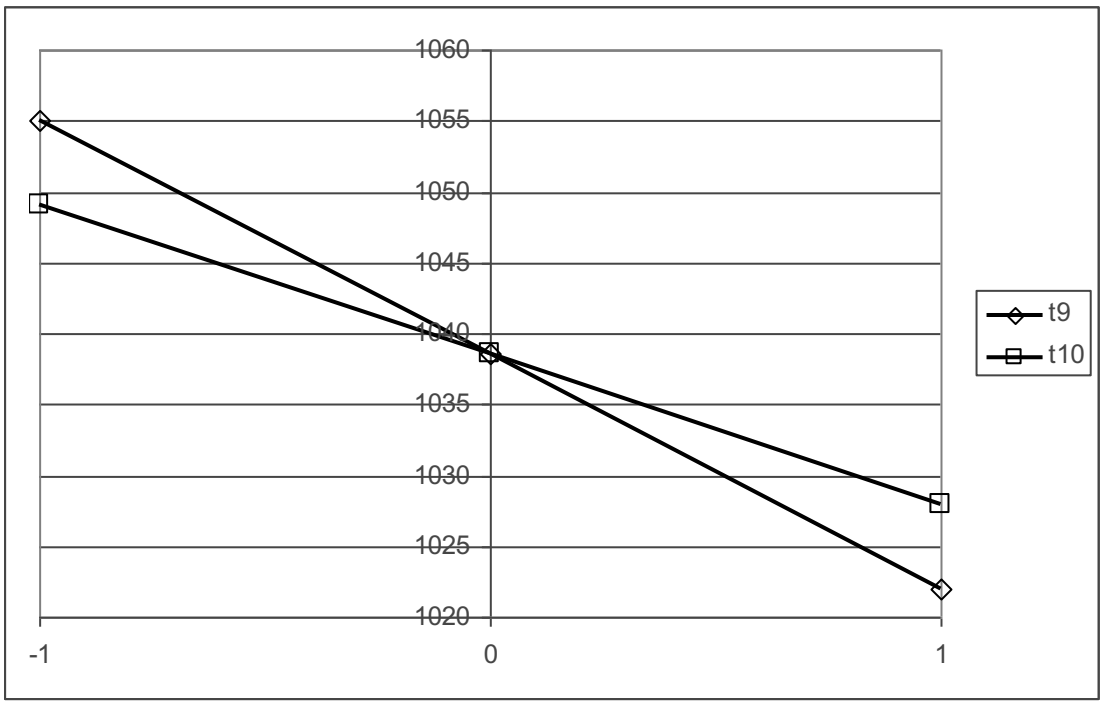


Рисунок 3.6 – Графічна залежність мінімальної температури прокатки від часу паузи у 9-й та 10-й кліті в кодованому виді

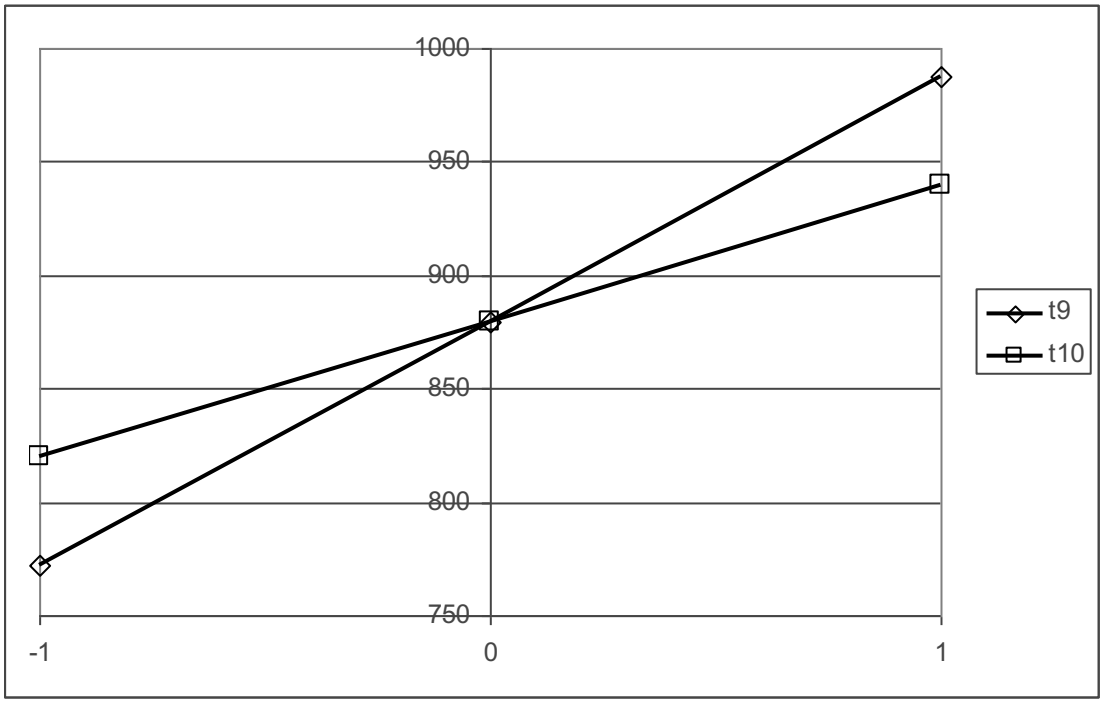


Рисунок 3.7 – Графічна залежність зусилля прокатки від часу паузи у 9-й та 10-й кліті в кодованому виді

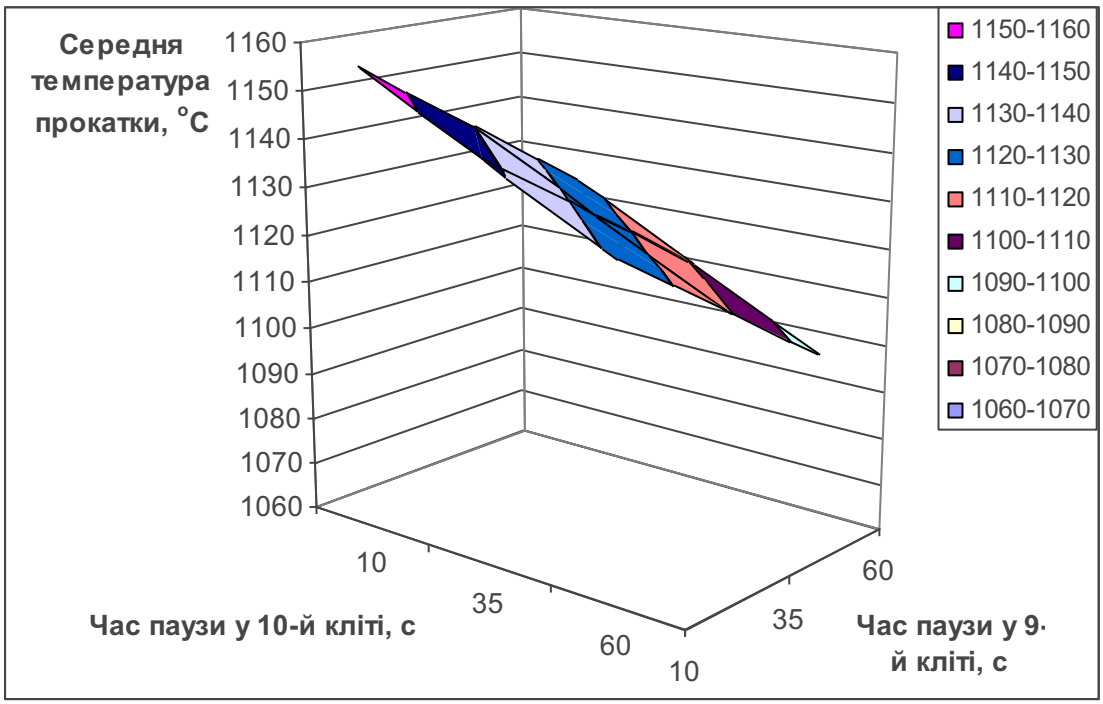


Рисунок 3.8 – Оптимальні поверхні відгуку середньої температури прокатки

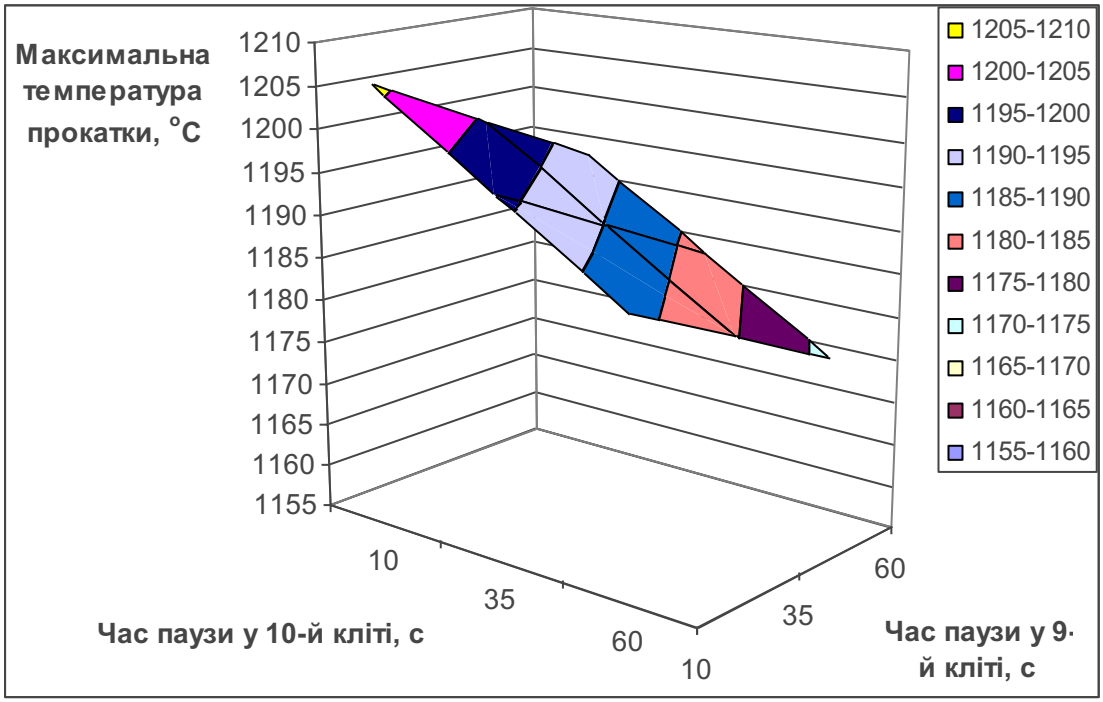


Рисунок 3.9 – Оптимальні поверхні відгуку максимальної температури прокатки

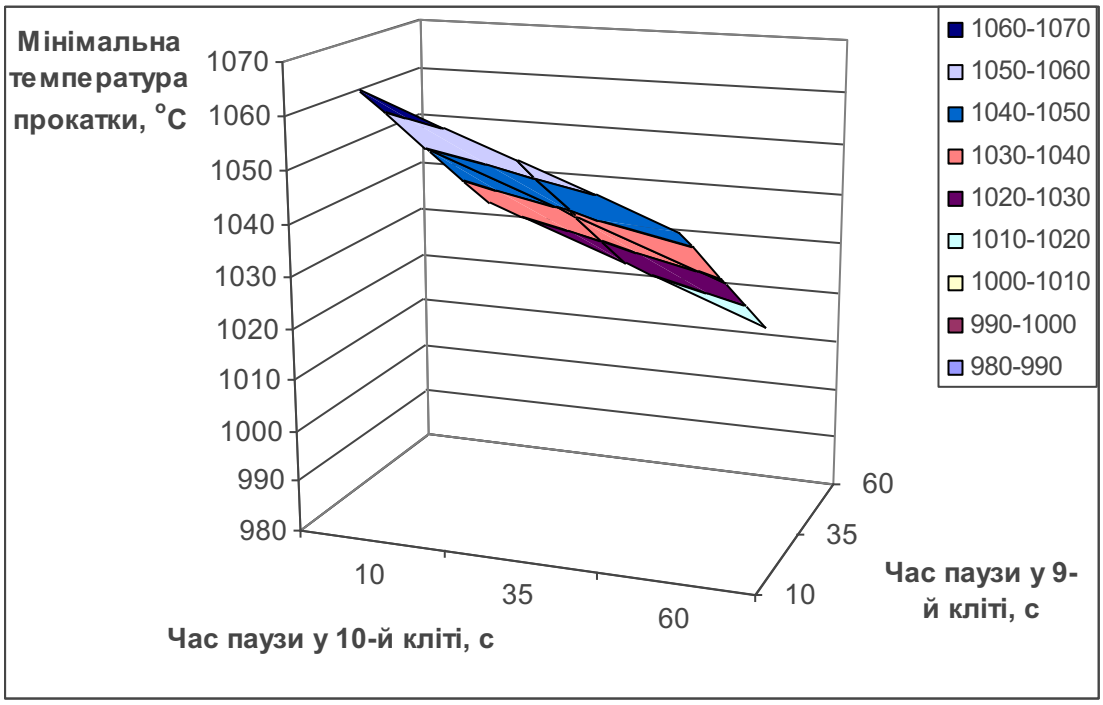


Рисунок 3.10 – Оптимальні поверхні відгуку мінімальної температури прокатки

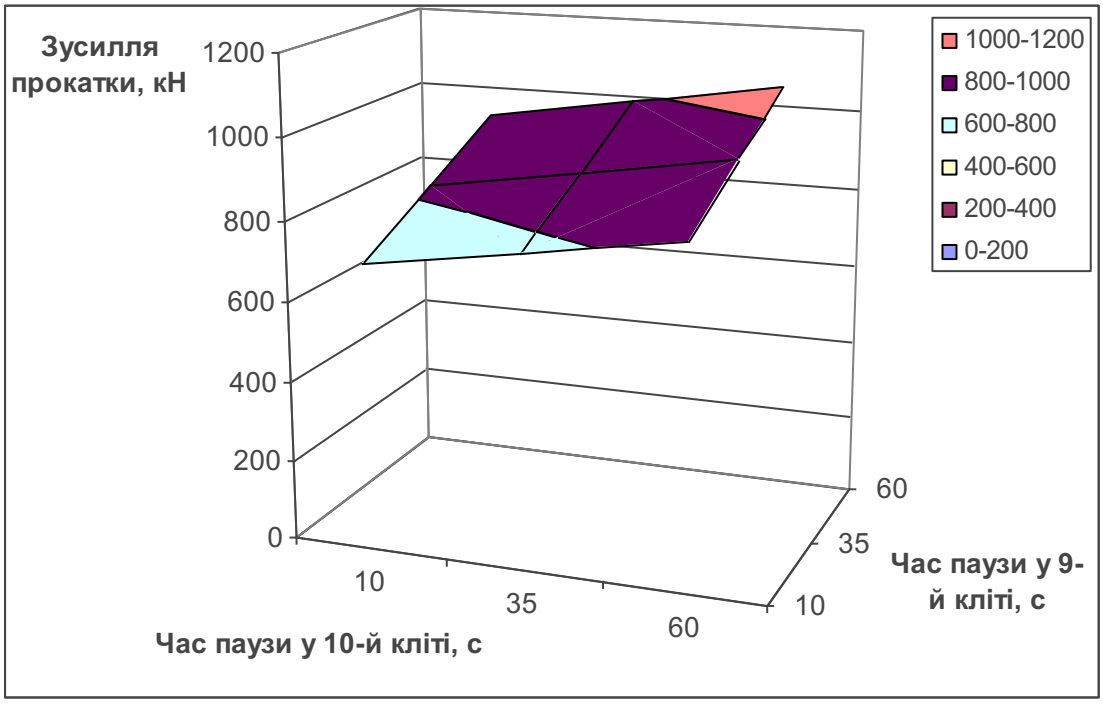


Рисунок 3.11 – Оптимальні поверхні відгуку зусилля прокатки

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА

4.1 Аналіз потенційно небезпечних і шкідливих факторів виробничого середовища

До основних небезпечних і шкідливих факторів у цеху гарячої прокатки ставляться:

- інфрачервоне випромінювання гарячого металу, під впливом якого робітник проводить 83,3% усього робочого часу і яке при даних роботах впливає на зорові органи людини (300 - 4000 Вт/м);
- шкідливі хімічні речовини такі як: ангідрид хромовий, оксид марганцю, акролеїн, сірководень, оксид вуглецю і мінеральні масла, які протягом 83,3% робітника часу впливають на внутрішні органи людини;
- пил, виділюваний при вигорянні оксиду металу. Пил є одним з основних шкідливих факторів, які протягом 91,4% робітника часу впливають на слизову оболонку органів подиху, що приводять к захворюванням;

Оцінка факторів виробничого середовища наведена в таблиці 4.1.

Для зменшення впливу інфрачервоного випромінювання на зорові органи робітників раціонально використати світлові екрани (фільтри), які безпосередньо встановлюються на постах чорнової і чистової групи, де оператори і вальцювальники візуально контролюють процес прокатки.

З таблиці 4.1 видно, що робота операторів, вальцювальників ставиться до робіт зі шкідливими і небезпечними умовами праці. Відповідно до гігієнічної класифікації умов праці вальцювальник має право на пільгових умовах на: пенсію по старості на пільгових умовах за списком №1; додаткова відпустка 24 дня; надбавка до зарплати 24%, молоко. Ст. 141 КЗОТ містить загальні вказівки про порядок видачі за рахунок підприємства спецодягу і запобіжних пристосувань (окуляри, маски, респіратори, мило і т.п.) всім

працюючої на особливо шкідливих роботах з перебуванням у ненормальній температурі.

Таблиця 4.1 – Оцінка факторів виробничого і трудового процесу вальцювальника

№ п/п	Фактори виробничого середовища і трудового процесу	Норм. знач. (ГДК, ГДУ)	Факти ч. знач.	III клас вредн. і опасн. усл. і характер праці			Час дії фактора за зміну,%
				I	II	III	
1.	Шкідливі хімічні речовини, мг/м^3 :						
	I клас небезпеки						
	Ангідрид хромовий	0,01	0,06			6,0	90
	Оксид марганцю	0,05	0,39			7,8	90
	II клас небезпеки						
	Акролеїн	0,2	0,66		3,3		90
	III-IV клас небезпеки						
	Ангідрид сірчистий	10	16,83	1,63			90
	Вуглецю оксид	20	25	1,25			90
2.	Масла мінеральні	5	6,78	1,36			90
	Пил переважно фиброгеного дії, мг/м^3	4	26,3			6,58	90
3.	Вібрація (загальна й локальна), дБ						
4.	Шум, дБ						
5.	Інфразвук, дБ	80	105			25	100
6.	Ультразвук, дБ						
7.	Неіонізуюче випромінювання:						
	- радіочастотний діапазон, В/м						
	- діапазон промислової частоти, кв/м						
	- оптичний діапазон (лазерне випромінювання), Вт/м^3						
	Мікроклімат у приміщенні:						
8.	- температура повітря, ^oC	27	32,1		5,1		100
	- швидкість руху повітря, м/с	0,1-0,2	<0,3				
	- відносна вологість повітря,%	55	32				
	- інфрачервоне випромінювання Вт/м^3	140	411		411		83
9.	Температура навколишнього повітря (під час роботи на відкритому повітрі), ?C						
	улітку						
10.	узимку						
11.	Атмосферний тиск						
	Вага і напруженість праці						

4.2 Розробка мір захисту від впливу небезпечних і шкідливих виробничих факторів

Перелік технічних і санітарно-гігієнічних мір захисту виробничої сфери і робочих місць наведені в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Міри захисту від впливу небезпечних і шкідливих факторів

Небезпечний або шкідливий фактор	Захисний пристрій	Принцип дії і призначення	Місце установки
Підвищений рівень шуму	Звукоізолюючі кабіни і перегородки	Звукопоглинання і відбиття, ізоляція органів слуху	Біля джерел шуму, у приміщенні оператора
Паровиделення	Витяжна вентиляція	Примусовий механічний отсос пар, що утворилися	Над станом
Небезпечний рівень струму	Ізоляція і огородження струмоведучих частин; заземлення й блокування	Захист від дотику до струмоведучих частин, захист від дотику до металевих частин устаткування. Захист від високих рівнів струму	Навколо струмоведучих частин, біля корпусів електродвигуна
Рухливі механізми	Запобіжники плавкі, пускачі дистанційні Кожуха, сітки, запобіжні пристрої	Захист від зіткнення із частинами, що рухаються, і механізмами.	На панелях пульта керування
Метал що переміщається	Огородження і розмітка небезпечної зони. Знаки безпеки	Захист від травм під час руху й переміщення металу	На території небезпечної зони

4.3 Технічні рішення по виробничій санітарії

Площадка, на якій розташований прокатний цех, обрана з умов прямого влучення сонячних променів, природного провітрювання і відводу стічних і поверхневих вод.

Між житловою зоною і заводом передбачається санітарна зона, розміри якої залежать від потужності технологічного процесу, характеру і кількості виділюваних у навколишнє середовище шкідливих речовин, видаваних шумів і інших шкідливих факторів. Передбачає міри, що зменшують їхній несприятливий впливи на навколишнє середовище і які забезпечують дотримання вимог відносно шкідливих речовин в атмосферному повітрі населених пунктів, і робочій зоні приміщень.

Освітленість у цеху

У прокатному цеху застосовується природне і штучне висвітлення. Природне висвітлення забезпечується одночасно через світлові прорізи в бічних стінах і ліхтарі.

Згідно СНіПу-4-79 роботи, виконувані персоналом при прокатки слябів, ставляться до 8 розряду зорових робіт. У приміщеннях цеху для висвітлення застосовують, як правило, газорозрядні лампи. Типи світильників вибирають залежно від умов їхньої роботи і вимог до якості висвітлення. Для загального висвітлення застосовують світильники «Альфа». У місцях підвищеної небезпеки, де освітленість при системі загального висвітлення становить 150лк і менш, норму освітленості збільшують на 1 розряд.

У випадку виходу з ладу робочого висвітлення використають аварійне висвітлення, що забезпечує можливість продовження роботи або евакуації персоналу. У прокатному цеху установка аварійного висвітлення обов'язкова на пості керування прокатним станом; пунктах керування системами водопостачання, вентиляції і каналізації, у машинному залі і диспетчерському пункті.

Найменша освітленість робочих поверхонь потребуючі обслуговування при аварійних режимах становить 5% освітленості, нормованої для загального робочого висвітлення, але не менш 2лк. Аварійне висвітлення для евакуації персоналу, проходів і сходів не менш 0,5лк.

Для виробничих приміщень, у яких виробляються точні роботи, установлені три розряди з мінімальними нормами при комбінованому висвітленні лампами накалювання: I розряд – для робіт, що вимагають розрізнення деталей розміром 0,1мм і менш - 400 –1500лк; II розряд – для робіт потребуюче розрізнення деталей розміром більше 0,1 до 0,3мм - 300 – 1000лк; III розряд – для робіт потребуючого розрізнення деталей розміром більше 0,3 до 1мм - 200 – 500лк; IV розряд – для робіт малої точності, що вимагають розрізнення деталей розміром від 1,0 до 10мм - 100 –150лк; V розряд – для грубих робіт потребуючого розрізнення деталей розміром більше 10мм – 100лк.

Мікроклімат

Для обігріву цеху в зимову пору року уздовж стін на ділянках, де працюють люди, установлене водяне опалення. Для перемішування повітря встановлені калорифери типу СТД-300. Вони розташовані так, щоб від них струмінь примусової подачі повітря сковзала уздовж прольоту.

Для огородження припливу холодного повітря під час в'їзду і виїзду транспорту над воротами встановлені для створення завіси з теплого повітря. Всі обігрівальні установки забезпечують температуру повітря в приміщенні в межах 16-20 ^{o}C.

Вентиляція виробничих приміщень забезпечує потрібні гігієнічні якості повітря. У цеху спостерігається зайве теплове виділення від нагрітого металу, виділення пилу – незначне. Ділянка стана БШСГП 1680 ставиться до Іа групи: для забезпечення нормального повітрообміну в стінах цеху передбачені три ряди отворів для природної вентиляції:

1ряд – на рівні 1,5м від підлоги;

2ряд – на рівні 4,5м від підлоги;

3ряд – на рівні 8,5м від підлоги.

Для видалення зайвого тепла і вентиляції, у прольоті стана передбачені витяжні ліхтарі. У літню пору для природної вентиляції використаються

також відкриті ворота. Але оскільки джерел тепла багато (нагрівальна піч, нагрітий метал і т.д.), те передбачена система приточной вентиляції.

Санітарно - побутові приміщення

Створення прийнятних санітарно-побутових умов у приміщеннях у значній мірі попереджають захворювання працюючого персоналу. Будинок побутових приміщень 3-х поверхове. Висота поверхів більше 3-х метрів. Відношення площі вікон до площі підлоги 1:5 ... 1:9, що забезпечує достатню освітленість приміщень. Робочий і чистий одяг зберігається в закритих подвійних шафах. Ширина проходів між шафами не менш 1м. Душові кабіни площею 6,8 $м^2$ на одну душову установку.

Електробезпечність

Електробезпечність – це комплекс мер, спрямованих на запобігання поразки людини електричним струмом.

Вплив електричного струму на організм може викликати небезпечні для здоров'я наслідку і навіть привести до смерті. Небезпека збільшується тим, що наявність електричної напруги не може бути безпечно виявлене за допомогою наших органів почуттів. Імовірність смертельного результату при поразках електричним струмом велика. Великий вплив робить зовнішнє середовище.

Становий проліт відповідно до вимог ПУЕ СНіП 111-33-76 ставиться до зони класу В-16 – це зона, розташовані в приміщеннях, у яких при нормальній експлуатації вибухонебезпечні суміші горючих газів або пар ЛВЖ із повітрям не утворяться, а можливі тільки в результаті аварій або несправностей.

Небезпека поразки електричним струмом виникає при експлуатації несправних електроустановок, порушенні ізоляції на силових і контрольних кабелях, електродвигунах, командоапаратах, кінцевих вимикачах .

Фактичне значення струму на ділянці I = 5,9 А, напруги відповідно U= 220-380 В.

Однієї з основних причин поразки електричним струмом є пробій ізоляції.

При ушкодженні ізоляції електроустаткування напруга може випадково з'явитися на металевих частинах (на корпусі, кожусі, станині: на броні кабелю і т.д.), які в нормальному положенні не перебувають. При сполученні з металевими конструкціями, які оказались під напругою, виникає небезпека поразки електричним струмом.

Нещасні випадки можливі також при впливі електричного струму через дугу; безпосереднім зіткненні з відкритими струмоведучими частинами і проводами: випадковому, не викликаному виробничою необхідністю, або вплив при помилкової подачі напруги під час ремонтів і оглядів; при дотику до металевих частин устаткування, які випадково оказались під напругою; при торканні струмоведучих частин за допомогою предметів з низьким опором ізоляції; при зіткненні з будівельними деталями конструкцією, які випадково оказались під напругою; при впливі крокових напруг і др.

Небезпека електричних поразок створює різноманітне устаткування: електричний привод (включаючи пускорегулуючу апаратури), електроустаткування під'їмо-транспортних пристроїв, електрифікований внутрішньозаводський транспорт, зварювальні апарати, високочастотні і освітлювальні установки, переносний інструмент і т.д.

Міри захисту від поразки електричним струмом

У цехах з підвищеною температурою повітря використають наступні міри захисту від поразки електричним струмом:

а) захист від дотику до струмоведучих частин;

б) захист від дотику до встаткування, які випадково оказались під напругою;

в) захист від струмів надмірної сили (короткого замикання).

У першому випадку застосовують огородження і ізоляцію струмоведучих частин, розміщення їх на недоступній висоті, використання зниженої напруги.

У другому випадку, найпоширенішому, конструктивно простій і дуже ефективним заходом захисту є заземлення. Захисні функції заземлюючого пристрою складаються в зниженні до безпечної величини напруги щодо землі на металевих частинах, які оказались випадково під напругою, що дозволяє усунути небезпека поразки дотику до них людини.

Приєднання корпусів і інших конструктивних металевих частин електроустаткування до заземлюючого нульового проведення; називається захисним зануленням. Ціль захисного занулення перетворити пробій на корпус у коротке замикання між фазним і нульовим проведеннями, викликати тим самим протікання великого струму через захист і швидко відключити ушкоджене встаткування від мережі.

Пристрій, що автоматично відключає електроустановку за час не більше 0,2 с, при виникненні в ній струмів великої сили, у тому числі з появою напруги на корпусі і інших металевих частинах, називається захисним відключенням.

При обслуговуванні електроустановок застосовують основні і допоміжні захисні засоби. До основного ставляться захисні засоби, ізоляція яких надійно витримує робочу напругу установки і при користуванні якими допускається безпосередній дотик до струмоведучих частин, що перебуває під напругою. До додаткового ставляться засоби захисту, що підсилюють дію основних засобів і які забезпечують безпеку при напрузі дотику і кроковій напрузі. До засобів індивідуального захисту відносяться: ізолююча штанга, що ізолюють кліщі, діелектричні боти, діелектричні рукавички, що ізолюють підставки і ін.

Вибір схеми мережі

Прокатний цех ставиться до приміщень із підвищеною небезпекою поразки людей електричним струмом. Тут діють такі шкідливі фактори виробничого середовища: висока температура повітря (перевищує 32^0 С) запиленість повітря (перевищує в 2,13 рази ГДК) струмопровідним пилом, шум, інфрачервоне випромінювання. З огляду на, вищевикладене зробимо вибір мережі і покажемо на розрахунках, що вона задовольняє умовам безпеки.

Схема мережі, а отже і режим нейтрали джерела струму, що живлять цю мережу, вибираються по технологічних вимогах, а також за умовами безпеки.

По технологічних вимогах і за умовами безпеки самої оптимальної є чотирьохпроводна мережа із глухозаземленною нейтралью, тому що вона дозволяє використати дві робочі напруги – лінійну і фазну. Від чотирьохпроводної мережі 380 В можна живитися як силове навантаження – трьохфазне або однофазну, включаючи її між фазними проводами на лінійну напругу 380 В, так і освітлювальну, включаючи її між фазним і нульовим проведеннями, тобто на фазну напругу 220 В. При цьому досягається значне здешевлення електроустановки в цілому завдяки застосуванню меншого числа трансформаторів і меншого перетину проводів.

4.4 Заходи щодо пожежної безпеки

Приміщення цеху по ОНТП 24-86 ставляться до категорії «Г» по пожежобезпечності, це викликано тим, що в цеху має місце наявність пожежонебезпечних факторів, пов'язаних із застосуванням газових сумішей IV групи для опалення нагрівальних печей, а також із застосуванням його при порізі металу за допомогою переносних газоріжучих пристроїв, що змазують і гідравлічних рідин, які можуть при більших температурах

запаляться. Для гасіння виниклих пожеж передбачені пожежні щити, розташовані протипожежні гідранти, поширені засоби індивідуального пожежогасіння, а також розроблені системи блокування поширення пожежі.

Для успішної евакуації людей і цінностей передбачені виходи припустимої довжини і ширини, розміри дверних прорізів, що забезпечують достатню пропускну здатність, необхідна число сходових кліток і пожежних сходів.

Необхідний ступінь вогнестійкості виробничих будинків промислових підприємств визначається СНіП 2.09.02-85 залежно від категорії виробництва, площі і висоти будинку. Стіни будинку зроблені з неспаленного матеріалу. Для забезпечення безпечної евакуації в будинку цеху розташовані евакуаційні виходи. У цеху застосовується пожежне водопостачання в якому витрата води на зовнішнє водопостачання 15 л/с.

Для гасіння пожеж у прокатному цеху застосовують тверді, рідкі і газоподібні речовини: вода, інертний газ, хімічну і повітряно-механічну піни, пісок.

У прокатному цеху, у цей час застосовуються і пінні вогнегасники типу ОХП-10; ОВП-5; ОВП-10, у кількості 10 штук, які розташовані на протипожежних стендах.

4.5 Заходи щодо захисту навколишнього середовища

Цех гарячої прокатки сортового металу є основним споживачем води (72 млн.м^3/рік) і є джерелом забруднення води окалиною і маслами. Застосовувані методи очищення маслоокалинозмістовних вод, у тому числі з використанням реагентів приводить до утворення замасленого (до 10-20%) осаду дрібнодисперсної окалини. Замаслений і обводнений залізовмісний шлам, втрачаючи сипкість, злежується і налипає на ринви, бункери та дозуючі пристрої. Тим часом окалини є коштовною металургійною

сировиною, використовуваною в сталеплавильному виробництві і порошковій металургії.

Після введення в експлуатації очисних споруджень зворотного циклу водопостачання, запропоноване введення неіоногених поверхньоактивних речовин (НПАВ), що у свою чергу приведе до зневоднювання і знемаслювання окалини. З погляду санітарії виробництва потрібно відзначити, що після введення НПАВ у воду подавану на гарячепрокатний стан зменшиться виділення пилу, за рахунок змочування поверхневого шару (шаруючи окалини) смуги і що поліпшить змив на гідрозбивах для утилізації. Також необхідно відзначити, що введення НПАВ може вплинути на зменшення витрати поверхні валків.

Роблячи виводи, можна відзначити, що промислові дослідження очищення окалинозмістовних вод від масел із застосуванням НПАВ показали, що кількість у тонкодисперсної (менш 100мкм) окалині за три місяці збирається в 4-5 разів менше, швидкість зневоднювання виросла в 2 рази.

ВИСНОВОКИ

Для гарячої прокатки найбільш нестабільним критерієм є температура розкату, амплітуда коливань якої росте зі збільшенням тривалості процесу прокатки. Усунувши цю проблему – значить придати процесу прокатки квазістабільний стан, що дасть можливість повністю контролювати всі параметри готового виробу.

В ході проведення експерименту встановлений наступне:

а) даний спосіб забезпечує рівномірний розподіл температури по всій довжині, що усуває саму причину виникнення поздовжньої різнотовщиності.

б) необхідність постійного підстроювання стана, викликаної варіюванням швидкості, підвищує трудомісткість роботи операторів і вальцювальників чистової групи клітей.

в) впровадження запропонованої технології прокатки вимагає модернізації стана 1680, а саме автоматизації процесу прокатки в чистовій групі клітей.

Таке рішення не усуває більшості дефектів, тому що головним завданням є рівномірний розподіл температури не тільки по довжині, а й по всій поверхні розкату. Отже, необхідно встановити на стані 1680 систему моталок у печах «COIL-BOX», вона дозволить забезпечити рівномірний розподіл температури по всій зовнішній і внутрішній поверхні розкату для наступної його прокатки в чистовій групі клітей. Здатність цієї системи використати теплову енергію розкату для рівномірного розподілу температури без значних енерговитрат приведе до зниження відсотка браку, тим самим збільшить вихід придатного. Модернізація безперервного стана 1680 комбінату Запоріжсталь забезпечить більше рівномірний розподіл температур розкату, що задає в чистову групу клітей. Це дозволить розширити асортименти продукції і збільшити розмір рулону з одночасним підвищенням якості.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Данченко В. М., Гринкевич В. О., Головко О. М. Теорія процесів обробки металів тиском: підручник. Дніпропетровськ : Пороги, 2008. 370 с.

2. Кухар В.В., Аніщенко О. С., Присяжний А. Г.Основи експериментальних методів дослідження процесів обробки металів тиском : навчальний посібник. Маріуполь : ПДТУ, 2019. 234 с.

3. Середа Б.П. Прокатне виробництво. Навчальний посібник. Запоріжжя : ЗДІА, 2008. 312 с.

4. Середа Б.П. Прокатне виробництво. Навчальний посібник. Запоріжжя : ЗДІА, 2009. 344 с.

5. Баздирев В. С., Іванов В. І., Нестеренко Т. М., Середа Б. П. Про зниження зневуглецювання каліброваної сталі в термічних печах. *Металознавство та обробка металів*. 2002. №4. С.31-34.

6. Тарасенко В. М., Калюжний В. Л. Використання метода граничних елементів в математичному моделюванні процесів обробки металів тиском. *Технологические системы*. 2005. № 5- 6 (31-32). С.77-79.

7. Гожій С. П. Засади і проблеми використання ресурсозберігаючих технологій обробки металів тиском. *Технологические системы*. 2006. № 2 (34). С. 64-68.

8. Горбатенко В. В. Вдосконалення структури сплавів для валків дрібносортових прокатних станів з метою підвищення їх експлуатаційної стійкості : автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.14.06. Донецьк, 2006. 20 с.

9. Мохаммад З. Удосконалення і реалізація методів розробки калібровок валків і технології виробництва трубних заготовок великих діаметрів на обтискно-заготовочному стані : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.03.05. Донецьк, 2006. 21 с.

10. Нахайчук О. В., Огороднiков В. А., Музичук В. І., Деревенько І. А. Діагностування матеріалів для технічних експертиз та процесів обробки металів тиском. *Вісник Вінницького політехнічного інституту*. 2007. № 6 (75). С. 102-110.

11. Дехтьярьов В. С. Розвиток методів калібровки інструменту при холодній валковій прокатці презиційних труб зі змінним по довжині робочого конусу типом калібру : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.03.05 : захищ. 17.06.08. Дніпропетровськ, 2008. 19 с.

12. Жегур О. А. Розробка наукових основ раціональної конструкції чавунних кокілів підвищеної стійкості з литими калібрами для прокатних валків : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.16.04 : захищ. 03.03.09. Дніпропетровськ, 2009. 18 с.

13. Єфіменко О. Ю. Розвиток методів розрахунку формозміни металу та енергосилових параметрів прокатки в калібрах з урахуванням перехрещення валків в горизонтальній площині : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.03.05 : захищ. 16.06.09. Дніпропетровськ, 2009. 20 с.

14. Belokon Y., Yavtushenko A., Protsenko V., Bondarenko Y., Cheilytko A. Mathematical modeling of physical properties of anisotropic materials. *METAL 2020 - 29th International Conference on Metallurgy and Materials.* (Brno, May 20 - 22, 2020). Brno, 2020. P. 440-445.

15. Стріченко С. М. Удосконалення технологій та обладнання процесів обробки металів тиском, які використовуються при безперервному литті сортових заготовок : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.03.05 : захищ. 18.05.12. Луганськ, 2012. 20 с.

16. Клочко О. Ю. Підвищення експлуатаційних властивостей валків з високохромистого чавуну легуванням та термічною обробкою : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.02.01 : захищ. 14.06.12. Харків, 2012. 21 с.

17. Волчук В. М. Розробка наукових основ формування та оцінки механічних властивостей сортопрокатних чавунних валків для підвищення їх зносостійкості : автореф. дис. ... д-ра техн. наук : 05.02.01 : захищ. 21.05.15. Дніпропетровськ, 2015. 38 с.

18. Хімін В. М., Федьков Г. О. Конструкції агрегатів цехів обробки металів тиском. Обладнання цехів обробки металів тиском : метод. посіб. для студентівЗДІА спец. 7.090404, 8.090404 "Металургія" / ЗДІА. Запоріжжя : ЗДІА, 2006. 78 с. : іл., табл.

19. Середа Б.П., Прищип М.Г., Михайлін В.М., Жагров А.С., Бєлоконь Ю.О. Дослідження технологічних мастил за формозміною штаби у процесі холодної прокатки. *Металургія.* 2013. 1. С. 116-120.

20. Явтушенко О. В., Проценко В. М., Корнілов О. О. Розрахунки валків прокатних станів на міцність і деформацію у програмному комплексі "AutoCAD Mechanical". *Металургія*. 2018. № Вип. 2. С. 85-90.

21. Середа Б. П. Обробка металів тиском : навч. посіб. для внз. Запоріжжя : ЗДІА, 2009. 343 с. : іл., табл.

22. Середа Б. П., Кругляк І. В., Жеребцов О. А., Бєлоконь Ю. О. Обробка металів тиском при нестаціонарних температурних умовах : монографія. Запоріжжя : ЗДІА, 2009. 250 с. : іл., табл.

23. Сивак І. О. Розвиток прикладної теорії деформуємості металів та її застосування для аналізу та удосконалення процесів обробки тиском : автореф. дис. ... д-ра техн. наук : 05.03.05: захищ. 25.04.01. Краматорськ, 2001. 36 с.

24. Yavtushenko A.V., Protsenko V.M., Belokon’ Y.A., Bondarenko Y.V. Productivity Optimization of Cold Rolling Mills. *Steel in Translation*. 2020. 50. P. 335-339.

25. Середа Б. П., Прищип М. Г., Кругляк І. В., Кругляк Д. О. Технологія процесів обробки металів тиском : навч.-метод. посіб. для студ. ЗДІА спец.

6.05040104 "Обробка металів тиском" / МОНМС України, ЗДІА. Запоріжжя : ЗДІА, 2012. 161 с.

26. Середа Б. П., Критська Т. В., Жеребцов О. А. Дослідження та вдосконалення процесів обробки металів тиском : навч.-метод. посіб. для студентів ЗДІА спец. 6.05040104 "Обробка металів тиском" / ЗДІА. Запоріжжя : ЗДІА, 2012. 122 с.

27. Романовський І. Г. Теоретичне та експериментальне дослідження формозмінювання у таврових калібрах і розробка методів розрахунку калібровок : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.16.07 : захищ. 29.06.93. Дніпропетровськ, 1993. 17 с.

28. Теорія обробки металів тиском: навчально-методичний посібник для студентів ЗДІА спеціальності 6.05040104 «Обробка металів тиском» /Середа Б. П., Бєлоконь Ю. О., Оніщенко А. М.; Запоріз. держ. інж. акад. Запоріжжя: ЗДІА, 2012. 132 с.

29. Бєлоконь Ю. О., Бондаренко Ю. В., Проценко В. М., Явтушенко А. В., Кругляг Д. О. , Проценко В. М., Явтушенко А. В., Кругляг Д. О. Вдосконалення технології сортової прокатки дуплексної неіржавкої сталі з метою поліпшення якості металу. *Металургия.* 2021. Вип. 2. С. 75-79.

30. Прокатка і калібрування: Довідкове видання у 6 т. / Б.М. Ілюкович, Н.Є. Нехаєв, В.П. Капелюшний /. Під ред. Б.М. Ілюковича. Д.: РІА "Дніпро-ВАЛ", 2003, т. 3. 429 с.

31. Sheyko S., Belokon Y., Kripak A., Tsyganov V., Kulabneva E. Development of rational chemical composition of special steel with increased mechanical and performance characteristics. *Journal of Chemical Technology and Metallurgy*. 2023. 58(4). P. 795–803.

31. Iannacchione A. The Application of Major Hazard Risk Assessment (MHRA) to Eliminate Multiple Fatality Occurrences in the US Minerals Industry.

National Institute for Occupational Safety and Health. Spokane Research Laboratory. Spokane : WA, 2008. 132 p.

32. Кошель В.І., Сав'юк Г.П., Дзундза Б.С. Основи охорони праці. навчально-методичний посібник для студентів вищих навчальних закладів педагогічного напрямку. Івано-Франківськ: НАІР, 2020. 182 с.

33. Голінько В.І. Основи охорони праці: підручник. М-во освіти і науки України; Нац. гірн. ун-т. 2-ге вид. Дніпро: НГУ, 2014. 271 с