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___«Удосконалення технології дресирування низьковуглецевих сталей»_____

Виконав: студент ___2__курсу, групи *8.1363-омт*

__Савельєва Валерія_____
(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

_____*Савельєва Валерія Андріївна*_____
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи (проєкта)____«Удосконалення технології дресирування низьковуглецевих сталей»_____
_____

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 № 359-с

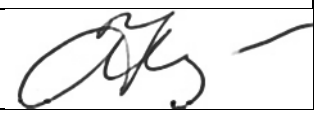
2. Строк подання студентом роботи (проєкта)____*01.12.2024*_____

3. Вихідні дані до роботи (проєкта)__Розробка режиму дресирування штаби товщиною 1,0 мм. Параметр дослідження – процент відбракування по дефекту злом при сортуванні. Фактори оптимізації – X_1 – товщина штаби, X_2 – натяг штаби, X_3 – температура відпалу._____

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	*Бондаренко Ю.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 _____ *В. А. Савельєва*
(підпис) (прізвище та ініціали)

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

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота магістра: 108 с., 34 рис., 13 табл., 28 джерел.

ХОЛОДНА ПРОКАТКА, ШТАБА, ЗЛАМ, СИЛА ПРОКАТКИ, ВАЛОК, ПРУЖНА ДЕФОРМАЦІЯ, ТЕМПЕРАТУРА, ВІДПАЛ, ЗМОТУВАННЯ, РОЗМОТУВАННЯ, ОБТИСК.

Об'єкт розробки - процес змотування-розмотування холоднокатаних штаб до і після відпалу та розробка заходів щодо усунення дефекту злому при дресировці.

Мета роботи – удосконалення технології дресирування холоднокатаних штаб із конструкційних низьковуглецевих сталей та розробка процесів регулювання і керування величиною відносного обтиску метала.

Результати роботи можуть бути використані на дресировочному стані для покращення якості готової продукції.

Робота присвячена дослідженню існуючих і розробці оптимальних технології змотування-розмотування холоднокатаних рулонів до і після відпалу з метою зменшення відбракування готових листів по дефекту злом. Проаналізовано технології дресировки на інших металургійних підприємствах по публікаціях науково технічних журналів в умовах дресирування на станах 1700 №1 і №2 ЦХП ПАТ «Запоріжсталь». Основною причиною дефекту злом є нерегульованість натягу металу при змотуванні штаби в рулон НСХП 1680 і при розмотуванні рулонів після відпалу на дресирувальних станах при зміні радіусів рулонів.

ЗМІСТ

ВСТУП.....7
1. АНАЛІЗ НАУКОВОЇ ІНФОРМАЦІЇ І СТАН ПРОБЛЕМИ.....9
1.1 Дресирування і якість листової продукції.....9
1.2 Особливості технології прокатки з малими обтисками.....19
1.3 Технологічний процес прокатки сталі 08кп в умовах ЦХП ВАТ «Запоріжсталь».....24
1.4 Причини утворення дефекту злом.....30
1.5 Аналіз причин утворення дефектів поверхні автолистової сталі.....34
1.5.1 Покрашення режиму змотування рулонів.....34
1.5.2 Вдосконалення конвекторного кільця.....36
1.5.3 Підвищення шорсткості валків електрозорядною обробкою.....39
1.6 Мета та постановка задачі.....42
2. ДОСЛІДНИЦЬКО-РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА.....52
2.1 Технологія дресирування.....52
2.2 Матеріали та методики досліджень.....60
2.3 Модель експерименту та визначення параметрів процесу..... 63
2.4 Експериментальне визначення механічних властивостей дресированих листів.....69
2.5 Вплив параметрів дресирування на механічні властивості.....77
3. УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ДРЕСИРУВАННЯ.....85
3.1 Удосконалення технології дресирування.....85
3.2 Розрахунок зусилля дресирування з урахуванням пружного сплющення валків.....88
4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА.....94
4.1 Аналіз потенційно небезпечних та шкідливих факторів виробничого середовища цеха холодної прокатки тонкого листа.....94

4.2 Розробка заходів захисту від впливу небезпечних та шкідливих факторів.....94
4.3 Технічні рішення з виробничої санітарії.....97
4.3.1 Мікроклімат.....97
4.3.2 Освітлення в цеху.....98
4.4 Електробезпека.....100
4.5 Розрахунок штучного освітлення освітлення.....102
4.6 Заходи щодо пожежної та техногенної безпеки.....103
ВИСНОВКИ.....105
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ.....106

ВСТУП

Проблема підвищення якості листової сталі та забезпечення техніко-економічної ефективності її виробництва є багатогранним завданням, яке залежить від численних взаємопов'язаних факторів. Серед них: конструктивні параметри обладнання, його оснащення контрольно-вимірювальними пристроями та автоматизованими системами, науково обґрунтований вибір оптимальних технологічних режимів, точність налаштування, а також професійна майстерність персоналу.

Дресирування є ключовою операцією фінішної обробки листів і штаб із конструкційних маловуглецевих сталей. Одним із найважливіших завдань у цьому процесі є визначення оптимального ступеня обтиснення металу під час дресирування.

Механічні випробування дресированих листів передбачають визначення таких показників, як межа текучості, межа міцності, максимальне відносне подовження та твердість. Водночас ці показники відображають лише міцність металу, але не здатність до подальшого штампування. Головним критерієм оцінки дресированої маловуглецевої сталі є її штампованість, що проявляється у відсутності ліній ковзання. Для цього важливо не лише оцінити міцнісні характеристики, а й проаналізувати розподіл напружень у поперечному перерізі штаби та відсутність ділянки текучості на діаграмі розтягання. Важливо, щоб зовнішні шари металу були більш зміцненими, а внутрішні – звільненими від напружень. Відсутність ділянки текучості на кривій напруження дозволяє уникнути появи ліній ковзання при подальшому формуванні.

Хоча теоретичні дослідження процесу дресирування є надзвичайно актуальними, багато аспектів досі вивчено недостатньо через складність завдань. Для дресирування з обтисненням штаби в межах 1-3% характерні значні пружні деформації, які впливають на хід процесу та його параметри. У

зв’язку з цим теоретичний аналіз має враховувати пружно-пластичні властивості листового металу, оскільки моделі жорстко-пластичного тіла є недостатніми. Для розрахунку силових і кінематичних параметрів процесу потрібно одночасно враховувати пружні деформації валків і пружно-пластичні властивості штаби.

Дослідження впливу параметрів дресирування на механічні властивості листової сталі є актуальним завданням, що потребує розробки методик розрахунку розподілу напружень, деформацій та залишкових напружень у дресированій сталі. Ці характеристики зрештою визначають механічні властивості та штампованість металу.

У цій роботі поставлено за мету підвищення якості холоднокатаних штаб шляхом визначення залежності механічних властивостей сталевих листів від ступеня їх деформації. На основі цих залежностей встановлено оптимальний ступінь деформації, що забезпечує високу пластичність і достатню міцність холоднокатаних листів для подальшої холодної штамповки.

1 АНАЛІЗ НАУКОВОЇ ІНФОРМАЦІЇ І СТАН ПРОБЛЕМИ

1.1 Дресирування і якість листової продукції

Тонколистову маловуглецеву сталь після відпалу в більшості випадків піддають дресируванню. Необхідність дресирування обумовлена тим, що для такої відпаленої сталі завжди характерна чітко виражена площадка плинності на кривій розтягання. У той же час відомий досить тісний зв'язок між схильністю металу до утворення ліній зрушення (лінії Чернова-Людерса) і наявністю площадки плинності на кривій розтягання. Дресирування з певним ступенем обтиснення дозволяють усунути площадку плинності або значно скоротити її довжину при одночасному зниженні величини границі текучості. [1]

Границя текучості дресированого металу є не тільки критерієм оцінки штампуємості сталі, але й критерієм оцінки схильності сталі до утворення ліній зрушення при штампуванні. При цьому чим нижче границя текучості, тим менше або зовсім відсутня площадка плинності на кривій розтягання, отже, тим менш імовірне утворення лінії зрушення при штампуванні.

Відношення σ_T/σ_B також є характерним показником здатності листової сталі до глибокої витяжки, тому що чим менше це відношення, тим краще проходить процес штампування. Зміна границі текучості при дресируванні носить складний характер. Так, для маловуглецевих сталей границя текучості при ступені деформації 0,5-1,2% зменшується, а при подальшому збільшенні ступеня деформації починає зростати.

Високовуглецеві і леговані сталі мають інший характер зміни границі текучості. Так, наприклад, границя текучості сталі зі змістом вуглецю більше 0,4% при дресируванні підвищується в порівнянні з початковим його значенням.

Характер кривих зміни границі текучості маловуглецевої сталі при дресируванні може бути пояснений за допомогою сучасної теорії дислокацій. Так, при розтягуванні зразків, вирізаних з відпаленої маловуглецевої сталі, для початку пластичної деформації необхідний відрив дислокацій від «хмар Коттрелла» по всій товщині штаби. У цьому випадку напруги по перетині зразка відповідають границі текучості металу з відпаленою структурою.

При дресируванні з обтисненням порядку 0,5% у поверхневих шарах штаби відбувається відрив дислокацій, завдяки чому границя текучості при розтяганні відповідно зменшується.

Зі збільшенням обтиснення до 1,2% відбувається подальше звільнення дислокацій у більш глибоких шарах штаби, але поряд із цим починає позначатися зміцнення поверхневих шарів штаби. У результаті дії цих двох факторів зменшення границі текучості вповільнюється.

При подальшому збільшенні обтиснення вирішальний вплив на границю текучості набуває фактор зміцнення, інтенсивність якого безупинно зростає, і тому границя текучості підвищується. Ступінь деформації, необхідна для досягнення мінімального значення границі текучості, визначається не тільки хімічним складом дресируємого металу, і видом плавки, а обумовлена також умовами процесу дресирування.

Розглянемо вплив хімічного складу на величину ступені деформації, що відповідає мінімальному значенню границі текучості мартенівської і конвекторної сталі. Як слідує з експериментальних кривих, представлених на рис. 1.1, зі збільшенням змісту вуглецю мінімальна величина зазначеного ступеня деформації зростає для мартенівської сталі більш інтенсивно, ніж для конвекторної.

Отже, відхилення хімічного складу і спосіб виплавки дресируємої сталі, може впливати на вибір необхідного ступеня деформації, що забезпечує якісне штампування.

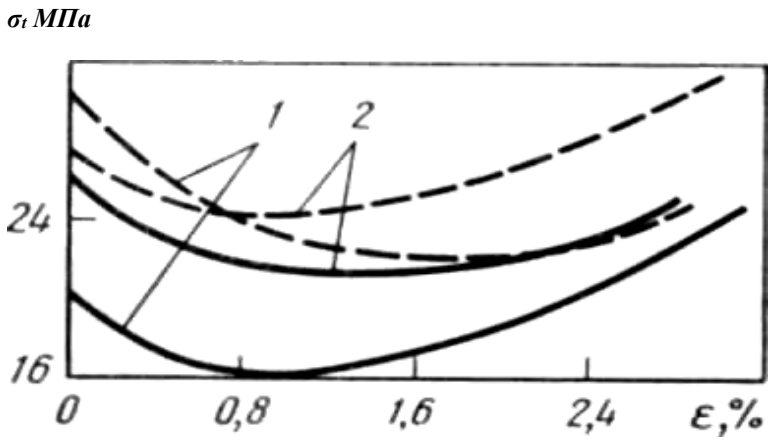


Рисунок 1.1 – Зміна межі текучості σ_t залежно від міри деформації для мартенівської (1) і конвекторної (2) сталей при вмісті вуглецю 0,3% (суцільні лінії) і 0,85% (штрихові лінії)

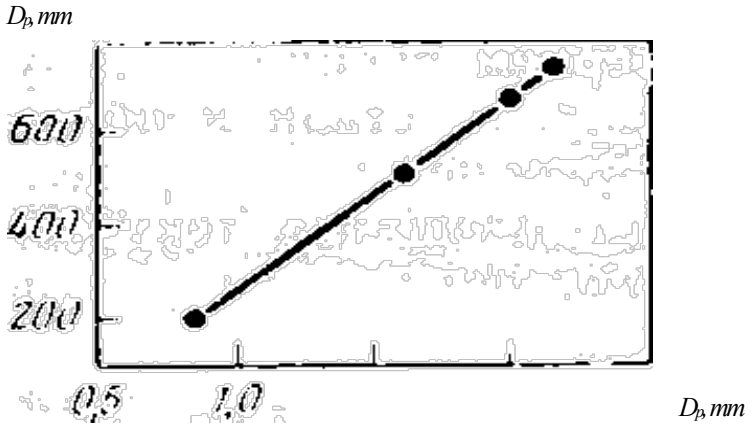


Рисунок 1.2 – Зміна величини обтиску, необхідного для усунення площадки текучості в залежності від діаметру робочих валків дресерувального стана.

Однак і для однієї марки сталі мінімальна величина ступеня деформації коливається. Так, наприклад, для сталі 08кп ступінь деформації змінюється в межах 0,8-1,4%. Такий діапазон обтиснень визначається впливом ряду факторів, наприклад, діаметром робочих валків, товщиною штаби і т.д.

На рис.1.2 показана зміна величини деформації, необхідної для усунення площадки плинності при дресируванні штаб товщиною h_0 = 0,2/0,35

мм зі сталі марки 08кп на робочих валках різного діаметра. Згідно цим даним, площадка плинності усувалася при обтисненні 0,8% на валках діаметром 100 мм, у той час як при деформації валками діаметром 650 мм було потрібно збільшення величини деформації до 2%, тобто зі збільшенням діаметра зростає необхідна величина деформації.

Ступінь впливу діаметра валків зі зменшенням товщини штаби на величину деформації зростає. Так, наприклад, при зменшенні діаметра валків від 560 до 260 мм зміна мінімального значення границі текучості для штаб товщиною H_0 = 0,3 мм становить близько 50 МПа, у той час як для штаб товщиною H_0 = 0,7 мм ця величина знижується до 10 МПа (рис.1. 3).

Крім розглянутих факторів, на штампуємість дресированого металу певний вплив мають такі технологічні параметри процесу дресирування, як умови тертя в зоні деформації, швидкість дресирування, число пропусків і т.д.

Розглянемо характер зміни границі текучості дресированого металу залежно від умов тертя в зоні деформації на прикладі дресирування без змащення і зі змащенням листів сталі 08Ю.

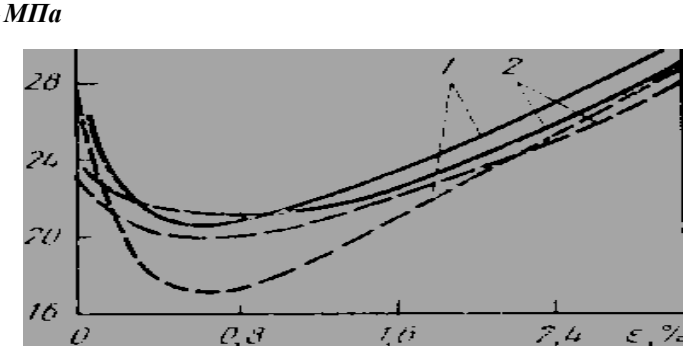


Рисунок 1.3 – Зміна межі текучості для маловуглецевої сталі в залежності від міри деформації при дресируванні штаб товщиною h_0 = 0,3 (1) і 0,7 мм (2) на валках діаметром D_p=560мм(суцільні лінії) і D_p=560мм(штрихові лінії)

Отже, відхилення хімічного складу і спосіб виплавки дресируємої сталі, може впливати на вибір необхідного ступеня деформації, що забезпечує якісне штампування.

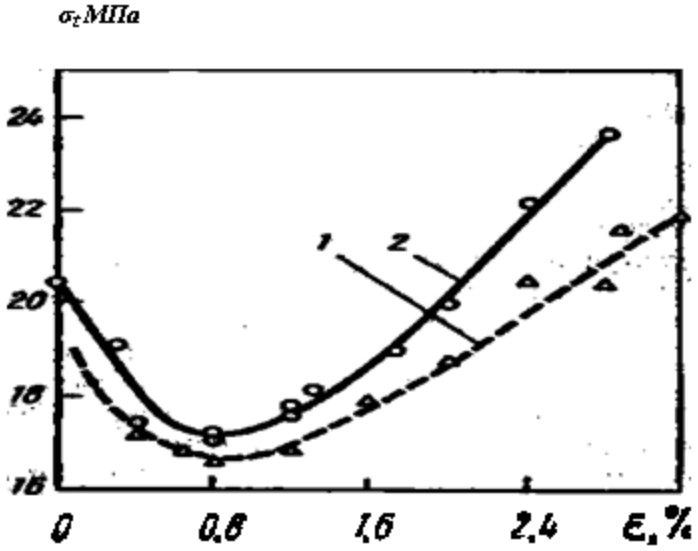


Рисунок 1.4 – Зміна границі текучості листів товщиною 1,0 мм із сталі 08Ю залежно від міри обтиску при дресируванні з мастилом (1) і без (2)

Як видно з наведених на рис.1.4 кривих, що характеризують зміну границі текучості залежно від обтиснення, зменшення коефіцієнта тертя знижує величину границі текучості, тобто сприятливо впливає на поліпшення штампуємості. З літературних даних також відомо, що ріст швидкості і збільшення числа пропусків трохи збільшують ступінь деформації, необхідну для забезпечення штампуємості металу.

Таким чином, для маловуглецевої сталі ступінь деформації при дресируванні повинна вибиратися не тільки залежно від хімічного складу металу, але і відповідно до умов процесу дресирування.

Нарешті, вплив на штампуємість маловуглецевої сталі робить і температура металу. Якщо метал недостатньо охолонув після відпалу і його температура вище 40°С, то дресирувати його не можна, тому що в цьому випадку одночасно з процесом зміцнення інтенсивно протікає старіння киплячої сталі, що приводить до утворення повторної площадки плинності.

При цьому зростає межа міцності, зменшується подовження і значно погіршується штампуємість.

Сталі, не піддані старінню (наприклад, сталь 08Ю), можна дресирувати при підвищених температурах, тому що у таких сталей властивості не погіршуються. Однак, крім штампуємості, процес дресирування повинен забезпечувати певну якість поверхні листа, що також залежить від умов дресирування.

Як ми вже відзначали, якість поверхні дресированих штаб визначається різними дефектами й шерхлістю. Остання залежить від шерхлості поверхні валків і від умов дресирування. Високі вимоги до якості поверхні холоднокатаного листа обумовлюють необхідність застосування валків з чистотою поверхнею бочок і шийок не нижче сьомого класу.

У деяких випадках, коли потрібно отримувати штаби високої чистоти поверхні, робочі валки повинні відповідати 10-11-му класу. Звичайно прийнято вважати, що чистота поверхні прокатуємої штаби, виходить на один-два класа вище чистоти поверхні робочих валків. Наприклад, якщо валки мають чистоту 10-го класу, то штаба одержує чистоту 11-го або навіть 12-го класу. Однак це не завжди так і особливо при високому класі чистоти поверхні робочих валків, тому що високий клас поверхні валків у процесі прокатки дуже швидко знижується. Інтенсивність цього зниження залежить від твердості робочих валків і співвідношення твердості робочих і опорних валків, а також від твердості самої штаби і класу чистоти її початкової поверхні [2].

Однак і при постійній шерхлості валків виявляється неможливим на всьому сортаменті дресируємого металу, одержати однакову шерхлість, тому що значний вплив на мікрорельєф поверхні роблять умови дресирування. До основних факторів, що впливають на шерхлість дресированої штаби, можна віднести ступінь деформації, кількість пропусків, швидкість, а також товщину штаби, діаметр валків і т.д.

Розглянемо експериментальні дані, що дозволяють оцінити вплив ступеня деформації на перенесення шерхлості валка на штабу при дресируванні маловуглецевих сталей валками, що мають твердість *HSh85*—90 (*HV*730—800). Обтиснення в цьому випадку, як відомо, становить не більше 1,5%, тому шерхлість поверхні валка переноситься на штабу не повністю, а частково.

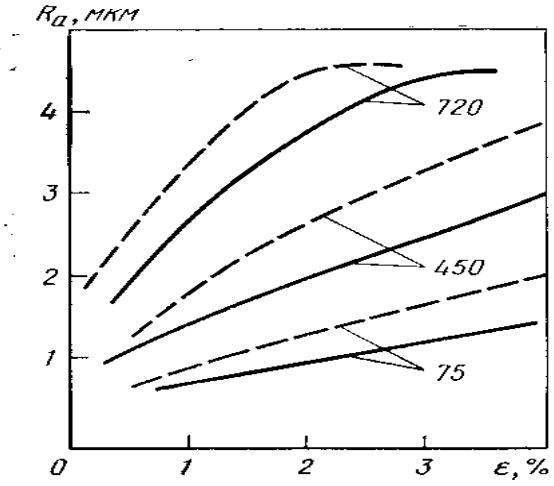


Рисунок 1.5 – Залежності величини шерхлості штаби від степені деформації і діаметру валка (вихідна шерхлість валка Ra =4,4 мкм) при h_0 = 0,5 мм (штрихова лінія) и h_0 = 2,0 мм (суцільна лінія) [1]

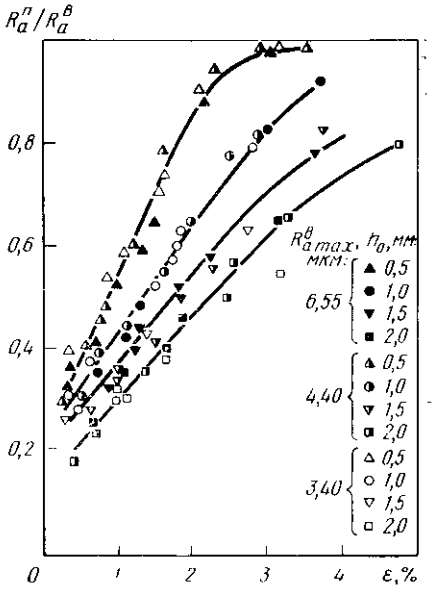


Рисунок 1.6 – Залежність відношення шерхлості штаби $R^п_a$ до граничної шерхлості валків $R^в_a$ та степені деформації [5]

На рис. 1.5 наведені залежності зміни шерхлості штаби від степені обтиску при дресируванні. З малюнка видно, що шерхлість штаби зростає зі збільшенням ступеня деформації доти, поки рівень її мікронерівностей досягне рівня, що відповідає мікронерівностям валків. Ступінь деформації, при якій повністю переноситься шерхлість валків, значно вище 1,5% і змінюється залежно від діаметра робочих валків і товщини штаби. При дресируванні штаб товщиною h_0 = 0.5 мм на валках діаметром 720 мм гранична перенесена шерхлість на штабі досягає при обтисненні 2,5%, а на валках діаметром 450 мм - при обтисненнях 3,5%. Причому зі збільшенням товщини штаби при однаковому обтисненні параметри перенесеної шерхлості будуть менше.

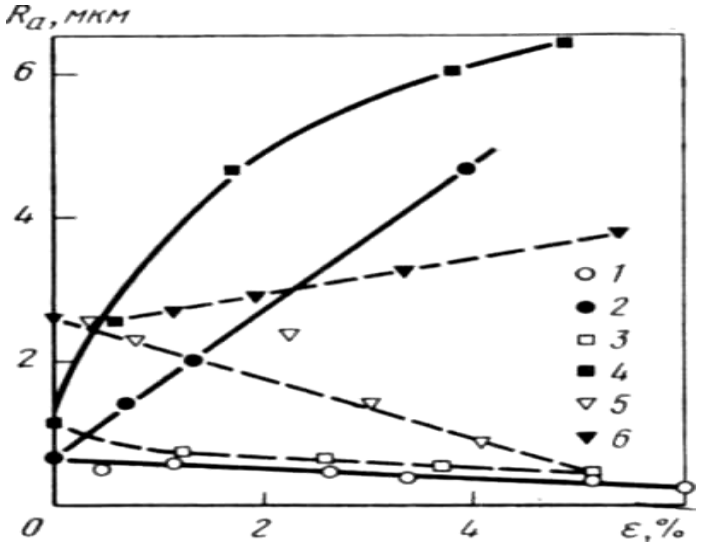


Рисунок 1.7 – Вплив стану поверхні валків і обтиску при дресируванні на шерхлість гарячекатаних штаб:

Крива	Сталь	Валки
1.	08пс	Гладкі
2.	08нс	Шерхлі
3.	СтЗсп	Гладкі
4.	СтЗсп	Шерхлі
5.	Х18Н10Т	Гладкі
6.	Х18Н10Т	Шерхлі

Ці дані були отримані при шерхлості валків Ra = 4,5 мкм. Виникає питання про те, чи буде змінюватися ступінь переносу для іншої вихідної шерхлості валків. Дані, наведені на Рис.1.6, дозволяють зробити висновок, що в діапазоні зміни вихідної шерхлості від R_a = 3,4 мкм до R_a = 6,55 мкм коефіцієнт переносу шерхлості валків на штабу при постійному обтисненні практично не змінюється.

Розглянуті результати досліджень відносяться до дресирування маловуглецевих сталей типу 08кп. Однак шерхлість штаби, як відомо, визначається також і матеріалом штаби. Характер зміни шерхлості поверхні гарячекатаної сталі марок 08пс, СтЗсп, Х18Н10Т товщиною 3,0; 2,7 і 3,5 мм відповідно після дресирування з різними обтисненнями в гладких (R_a = 0,5 мкм) і шерхлих (R_a = 15 мкм) валках наведено в роботі. З цих результатів свідчить, що для розглянутих марок сталей із збільшенням степені деформації мікрорельєф поверхні металу прагне до мікрорельєфу поверхні валків. Однак чим твердіше матеріал штаби, тим менше інтенсивність зміни її шерхлості у функції величини обтиснення.

Більш докладно експериментальний матеріал по впливу різних факторів на шерхлість штаби, де наведені результати експериментального вивчення залежності коефіцієнта відтиснення шерхлості валків на поверхні листової дресируємої сталі. Однак вони придатні лише для часткових, суворо конкретних випадків.

Метод аналітичного визначення коефіцієнта переносу шерхлості прокатних валків на поверхню металу. При цьому перенос шерхлості валків на штаб розглядається як процес заповнення мікропоглиблень на поверхні валка прокатуваним металом. За коефіцієнт відтиснення шерхлості валків на штабі приймається відношення висоти металу, що затік у нерівність при прокатці К, до висоти мікровиступу Н, що представлено у вигляді:

$$К_{ву} = \frac{Ra_в}{Ra_ш} \qquad (1.1)$$

де $Ra_{в}$- шорхість валків;

$Ra_{ш}$- шорхість штаби.

Як слідує із залежності (1), відтиск шерхлості валків на штабу у відомій мері залежить від величини коефіцієнта напруженого стану n_{σ} металу, що прокатується, отже, визначається умовами процесу дресирування.

Необхідно відзначити, що вибір шерхлості поверхні валка при дресируванні гарячекатаних штаб трохи відмінний, тому що призначення процесу дресирування в цьому випадку полягає в підвищенні ефективності наступного травлення. Тому використання насічених валків буває більше доцільним у порівнянні з дресируванням у шліфованих валках.

Так, наприклад, дресирування гарячекатаної сталі Х18Н10Т у насічених валках з обтисненнями в 1,5% і вище дозволяє підвищити швидкість руху штаби в травильних лініях більш ніж у два рази. Таким чином, у виробничих умовах режими підготовки валків дресировочних станів для забезпечення якісної поверхні штаби повинні вибиратися не тільки з урахуванням технологічних параметрів, але і з урахуванням призначення процесу, а також механічних властивостей дресированого металу.

Особливості самого процесу дресирування впливають і на планшетність штаби. Малий діапазон допустимих обтиснень істотно обмежує можливість дресировочного стану по виправленню неплощинності холоднокатаних відпалених штаб, тому що при відсутності спеціальних засобів керування профілем валків цей дефект можна усунути лише зміною положення натискних гвинтів. Підтримка обтиснення в настільки вузьких межах ускладнюється, крім того, нестабільністю параметрів процесу дресирування. Тому для забезпечення планшетності дресированої штаби необхідно домагатися стабільності процесу, а також керувати профілем валка за допомогою спеціальних пристроїв. У деяких випадках для забезпечення планшетності використовують багаторазове дресирування. Так, дослідження показали, що максимальний ступінь планшетності готових тонких листів без погіршення якості поверхні досягається після

чотириразового дресирування на двуклітьєвому стані. Необхідно також відзначити, що збільшення шерхлості поверхні валків першої кліті, приводить до помітного збільшення витяжки, що у свою чергу впливає на планшетність. Так, наприклад, при дресируванні на хромованих валках 10-го класу обробки ступінь планшетності становила, 55-85%, у той час як використання насічених дрібом 7-го класу обробки підвищило цю величину до 75-90%.

Викладене свідчить про складну залежність впливу умов процесу дресирування на якість дресированих штаб. Тому для забезпечення конкретних вимог, до якості штаб по штампуємості, якості поверхні і планшетності, повинна вибиратися відповідна технологічна схема.

1.2 Особливості технології прокатки з малими обтисками

У циклі виробництва холоднокатаних штаб оздоблювальними операціями є дресирування, виправлення, нанесення покриттів, різання, маркування і пакування. Дресирування є найбільш відповідальною оздоблювальною операцією і багато в чому визначає якість штаб. Ступінь зміни пластичних властивостей сталі залежить від її хімічного складу, механічних властивостей після відпалу, товщини штаб і ступеня деформації. При цьому границя текучості маловуглецевої сталі при обтисненнях до 0,8-1,2% зменшується і тільки при обтисненнях, більших зазначеного діапазону, починає збільшуватися. При дресируванні штаб з середньовуглецевих і легованих сталей границя текучості підвищується вже при обтисненні 0,5%. Тимчасовий опір розриву і твердість сталі не залежать від марки сталі і величини обтиснення.

Оскільки величина обтиснення при дресируванні досить мала, тобто товщина штаби змінюється незначно, деформацію визначають через витяжку штаби по формулі: $\varepsilon = [(l_1 - l_0) / l_0]\ 100\%$ де l_0 і l_1 — довжина штаби до і після дресирування.

Для виміру витяжки звичайно застосовують спеціальну скобу, за допомогою якої наносять риски на штаб. Після пропуску штаби через валки по нанесених рисках заміряють витяжку і по її величині встановлюють величину обтиснення, не вимірюючи товщину. Однак цей метод виміру пов'язаний з зупинкою процесу дресирування. Тому на сучасних станах витяжку в процесі дресирування заміряють по швидкості входу v_0 і виходу v_1 штаби з валків або по числу обертів роликів, встановлених по обидва боки валків, тобто по формулі:

$$\varepsilon = [(v_1 - v_0) / v_0]100\% \quad (1.2)$$

$$\text{або } \varepsilon = [(n_1 - n_0) / n_0]100\% \quad (1.3)$$

На цьому принципі засновані всі автоматично діючі прилади контролю витяжки для високошвидкісних дресировочних станів. Такі прилади не тільки контролюють і фіксують витяжку при дресируванні, але й видають відповідні керуючі електричні імпульси, впливаючи на натискні гвинти або на величину натягу, і тим самим підтримують заданий ступінь деформації протягом усього процесу дресирування.

При дресируванні тонкої штаби регулювання ступеня деформації зміною положення натискних гвинтів мало ефективно через досить незначну витяжку. У цьому випадку більш ефективне регулювання ступеня деформації здійснюється за рахунок зміни величини натягу штаби.

Величина натягу залежить від марки сталі і може змінюватися в межах, що виключають пластичне розтягання штаби.

Для забезпечення рівномірного обтиснення по ширині штаби валки дресировочного стану профілюються. Звичайно циліндричну форму надають обом опорним валкам, а також одному з робочих валків. Іншому робочому валку надають опуклу форму (0,05-0,1 мм) залежно від товщини й ширини штаб. Якщо при дресируванні виявляється, що профілювання валків не забезпечує рівномірного обтиснення по ширині штаби, що може бути результатом нестаціонарного теплового процесу дресирування, то в окремих випадках прибігають до нагрівання бочки валка газовими пальниками.

Останні звичайно встановлюють уздовж бочки верхнього робочого валка. Величину факела регулюють за допомогою вентилів, установлених перед кожним пальником. Знову встановлені в кліть робочі валки підігрівають по всій їхній довжині, але більшою мірою в середній частині валка, створюючи тим самим потрібну теплову опуклість.

Профілювання валків у процесі дресирування здійснюють також за допомогою спеціальних систем примусового вигину валків. Такий вигин валків відбувається звичайно за допомогою гідромеханічних пристроїв у площині, перпендикулярній напрямку прокатки. Додаток додаткових зусиль до шийок валків дозволяє змінювати в процесі дресирування профіль активного утворюючого робочого валка і тим самим регулювати розподіл витяжки по ширині штаби, а, отже, впливати на поперечну різнотовщинність і форму штаби.

Застосування швидкодіючого, практично безінерційного, примусового вигину валків скорочує кількість необхідних вихідних профілювань і знижує витрату робочих валків.

Сучасні дресирувальні стани розвивають швидкість до 30 м/с, тому необхідно враховувати перехідні процеси в період розгону і гальмування. При переході із заправної швидкості на робочу, а також при зниженні швидкості обертання валків стана значно змінюється ступінь деформації штаби. Так, при дресируванні жерсті на двуклітьєвому стані 1200 зміна швидкості від 1 до 20 м/с приводило до зменшення ступеня деформації на 30-40%. По даним інших досліджень, при дресируванні штаб 1,5 х 1250, 1 х 1250 і 0,9 х 1170 мм зі сталі марки 0,8кп на одноклітьовому стані кварто 1700, обладнаному підшипниками рідинного тертя, зменшення ступеня деформації в інтервалі швидкостей від 3 до 11 м/с досягало 13,8-26,3% від заданої. У зв'язку з викладеним, важливе значення має контроль витяжки штаби і оснащення високошвидкісних дресировочних станів автоматичними системами стабілізації витяжки штаб при дресируванні.

У більшості випадків дресирування проводять за один пропуск, однак іноді штаби дресирують у кілька пропусків з метою зменшення коробоватості або хвилястості і додання штабі площинної форми. До збільшення числа пропусків при дресируванні прибігають з метою кращої обробки поверхні штаб.

У цей час дресирування холоднокатаних штаб роблять головним чином у рулонах (рис1.8), однак на деяких заводах ще застосовують полистовий спосіб дресирування.

Цілий ряд інших особливостей процесу дресирування пов'язаний з матеріалом штаб, тобто хімічним складом металу, способом його виготовлення, термічною обробкою й технологією прокатки. Дресирування, як ми вже відзначали, є однією із завершальних і в той же час у значній мірі визначальною оздоблювальною операцією. Тому технологічні особливості процесу дресирування тісно пов'язані з загальною технологією всього циклу виробництва холоднокатаних штаб.

Так, наприклад, на одному з металургійних заводів технологічний процес виробництва нестаріючої автолистової сталі 08Ю вдосконалений на всіх етапах виробничого процесу. В результаті встановлені наступні основні параметри технології:

а) сталь розкислюють первинним алюмінієм у ковші, що забезпечує рівномірний хімічний склад по висоті злитка;

б) при розливанні металу в виливниці застосовують спеціальні шлакотворні суміші, завдяки чому зменшується кількість оксидних включень і поліпшується якість поверхні злитка;

в) температура кінця прокатки встановлена в межах 870— 910°С; температура змотування 560—580° С;

г) обтиснення при холодній прокатці проводять у діапазоні 60 - 75%;

д) тривалість рекристалізації відпалу становить 35—52 год. залежно від ширини штаби і маси рулонів (витримка при проміжній температурі 600° С у плин 12— 22 год. і потім при 690—720° С у плин 15—22 год.);

е) при дресируванні обтиснення допускається в межах 1±0,2%.

Для одержання штаб з першою групою обробки поверхні і з мінімальною різнотовщинністьу на цьому заводі проведений ряд додаткових заходів, у тому числі: встановлена система примусового вигину валків, гумовані дротяні столи й транспортуючі ролики, змінена технологія насічки валків і т.д.

Технологічний процес виробництва жерсті значно відрізняється від описаного вище технологічного процесу майже на всіх його стадіях. Так, на одному із заводів дресирування найтоншої жерсті проводять на двуклітьєвому стані 1200 у два - чотири проходи на насічених валках 6-го класу чистоти поверхні в першій кліті і на хромованих валках 10 - 11-го класу у другій кліті. Сумарне обтиснення при дресируванні жерсті на цьому заводі прийнято 2-2,5%.

Умовно процес дресирування жерсті можна розбити на два етапи: додання необхідних механічних властивостей жерсті і одержання гладкої полірованої поверхні штаби. Крім особливостей процесу дресирування при виробництві жерсті, мають місце певні технологічні особливості і на всіх попередніх стадіях її виробництва.

Призначення дресирування при виробництві штаб з легованої сталі трохи інше, чим при виробництві штаб з маловуглецевої сталі. Механічні властивості штаб з легованої сталі вже при обтисненні 0,5% підвищуються, а пластичність знижується. Тому дресирування застосовують головним чином для виправлення штаб. Однак штаби з легованої сталі при відпалі піддаються значному жолобленню і не завжди вдається ліквідувати коробчатість і хвилястість одним дресируванням.

В сучасних цехах леговані сталі правлять дресируванням і на багатороликових правильних машинах, а також використовують розтяжні машини. Звичайно дресирування здійснюють без технологічного змащення, тобто на сухих валках. Однак останнім часом намічається перехід на дресирування із застосуванням технологічного змащення. У цьому випадку

зменшується коефіцієнт тертя в зоні деформації, у зв'язку із чим знижується зусилля прокатки більш ніж в 1,5 рази. Змащення, поряд зі зменшенням контактних сил тертя сприяють більш інтенсивному в порівнянні із дресируванням без змащення зниженню границі текучості у всьому діапазоні обтиснень (див. рис. 1.4).

Процес дресирування, як вказувалося вище, є основною фінішною оздоблювальною операцією при виробництві холоднокатаних штаб. Однак у ряді випадків поряд із дресируванням застосовують виправлення, розтягання або дресирування заміняють тільки виправленням. У деяких випадках можливе застосування тих або інших нових процесів, як, наприклад, процесу прокатка - волочіння.

За рубежем на деяких лініях безперервного цинкування замість дресирування застосовують перегин стрічки з одночасним натягом.

Таким чином, технологія фінішної оздоблювальної операції визначається в кожному конкретному випадку залежно від вимог, пропонованих до холоднокатаних штаб.

1.3 Технологічний процес прокатки сталі 08кп в умовах ЦХП ПАТ «Запоріжсталь»

По підземному транспортеру рулони з ЦГП надходять в травильні відділення цеху холодної прокатки № 1. Травлення призначено для зняття шарів оксидів заліза та інших елементів тобто окалини. При нагріванні металу відбувається з'єднання хімічних елементів з киснем газової атмосфери нагрівального пристрою і утворюється окалина . Видалення окалини з поверхні підкату перед холодної прокаткою може проводитися хімічним методом (травленням). Травлення даної сталі виробляють у ваннах з сірчаною кислотою. Видалення окалини при травленні сірчаною кислотою відбувається за рахунок хімічного розчинення оксидів заліза і механічного зриву окалини воднем (однак частина водню дифундує в метал знижуючи

його пластичні властивості). Температура розчину впливає на швидкість травлення в більшій мірі, ніж концентрація кислоти, тому травлення виробляють зазвичай в розчинах, що підігріваються до температури 90 - 100 ^{0}C.

Для видалення окалини з поверхні смуг використовують агрегати безперервного травлення. Передній кінець смуги подається в тягнучі ролики і далі в окалиноломатель, де відбувається кілька різких перегинів металу в протилежні сторони навколо роликів, розташованих у шаховому порядку. У окалиноломателе відбувається механічне розпушення шару окалини , що дає можливість травильний розчин проникати через тріщини, що в глиб окалини і збільшити швидкість травлення. Протягування смуги через агрегат проводиться за допомогою декількох пар тягнуть роликів, встановлених перед і за петльовими ямами, а також за допомогою опорних гумованих роликів. Травлять смугу в трьох, черирех травильних ваннах, які заряджають розчином необхідного складу і концентрації. Ванни мають прямокутний перетин і викладені зсередини кислототривким цеглою, зовні одягнені в металевий кожух. У травильних лініях виробляють каскадне травлення. При чотирьох травильних ваннах концентрація сірчаної кислоти в розчинах становить відповідно 6 - 8, 8 - 12, 15 - 18, 18 - 22 % [1]. Після травлення смугу промивають спочатку холодною, а потім гарячою водою. Промита смуга сушиться гарячим повітрям у сушильній камері, а далі через петлеву яму подається тянущими роликами до ножиць для вирізки зшитих кінців. Змотані рулони маркують і передають на склад травлених рулонів.

Технологічний процес прокатки включає в себе, подачу рулонів до стану, задання смуги в стан, прокатку смуги.

Рулони подаються до безперервного чотирьохклетевому стану 1680 зі складу травлених рулонів за допомогою мостового крана. Укладання рулонів проводиться таким чином, щоб при скачуванні рулону в напрямку ухилу приймального пристрою рулон не розмотувався.

Приймальний пристрій являє собою похило встановлену раму, покриту зверху сталевими плитами. До рами прикріплені пневматичні циліндри і упори. Рулони встановлюються краном перед першим упором. Рулон центрується гідравлічними маніпуляторами.

При послідовному опусканні пневматичних упорів, розташованих уздовж приймального пристрою, рулони скочуються під дією сили тяжіння. При опусканні упору рулон надходить на поворотний пристрій. На поворотному пристрої рулони повертаються навколо вертикальної осі на 180˚ і по гравітаційному рольгангу поворотного пристрою надходять на скидач рулонів.

Установка рулонів різної ширини на скидачем в потрібному положенні (щодо поздовжньої осі розмотувача) здійснюється упором з переміщається буфером.

Нахилом скидача (від пневматичного циліндра) рулон скочується в люльку розмотувача, де повертається в положення, зручне для відгинання кінця смуги, і залежно від його діаметра, одночасно піднімається або опускається за допомогою люльки на рівень конусів розмотувача. Рулон центрується конусами, і за допомогою електромагнітного отгібателя кінець смуги відгинається в крайнє верхнє положення для заправки в тягнуть ролики.

Відігнутий електромагнітним отгібателем кінець смуги притискається знизу до притягуючого ролику. Після цього під низ смуги підводяться два опорних ролика, які разом з тягне роликом утворюють трехроліковую правильну машину. Смуга подається на стаціонарний стіл і на заправній швидкості подається в валки стану. З захопленням переднього кінця смуги валками на смугу опускається верхня рама преспроводки.

Перед заданням смуги в стан бічні розсувні проводки (перед першой кліттю) повинні бути встановлені на ширину смуги. З захопленням переднього кінця смуги валками 1-й кліті починається прокатка смуги.

При проході переднього кінця смуги через стан для отримання заданої в режимі обтиснень товщини після кожної кліті необхідно збільшити обтиску у 1, 2, і 3-й клітях. З цією метою натискні гвинти першої кліті необхідно опустити на 0,7-1,0 мм (по продуктіметрам), другий кліті - на 0,5 мм, третій кліті - на 0,3 мм нижче встановленого для даного розміру нульового положення .

При прокатці зварних рулонів передбачений а ручний режими прокатки ділянки зварного шва. При ручному управлінні прокаткою зварного шва після отримання звукового сигналу оператор розмотувача повинен уповільнити стан до 2 - 2,5 м / с і натиснути кнопку «обжим шва», при цьому натискні гвинти 1 -й і 2 -й клітей опускаються на 0,4 - 0,6 ; 3-й клітей - на 0,3 - 0,4; 4 -й кліті - на 0,1 - 0,2 мм (продуктіметра) нижче їх нульового положення .

Переклад стану на робочу швидкість проводиться після виходу шва з 3-й кліті. Управління прокаткою заднього кінця смуги проводиться вручну. При ручному управлінні прокаткою заднього кінця смуги перед виходом його з розмотувача (коли в розмотувачем залишається приблизно 5 - 6 витків) необхідно попередньо знизити швидкість стана, одночасно з цим натискні гвинти 1 -й і 2 -й клітей опустити на 0,4 - 0,5 мм , 3-й кліті - на 0,2 - 0,3 мм , 4 -й кліті - на 0,1 - 0,2 мм (по продуктіметрам) нижче нульового положення .

При подальшому зниженні швидкості до заправної повторно опускаються натискні гвинти 1-й і 2-й клітей до отримання заданої товщини смуги.

Під час прокатки заднього кінця смуги преспроводки перед 2, 3 і 4-й клітями повинні бути обов'язково притиснуті до смуги щоб уникнути порізу валків.

Після виходу заднього кінця смуги з кліті робочі валки встановлюються в початковий для даного профілю положення для приймання наступної смуги. Зняття прокатного рулону з барабана моталки проводиться за допомогою горизонтального переміщення гідравлічної люльки - знімача .

Рулон, знятий з моталки, транспортується візком до похилому жолобу приймального пристрою і перекидається на нього; при цьому зникаючі упори знаходяться в піднятому положенні.

При поверненні візки сниматель під моталку опускається упор № 1, і рулон по жолобу скочується до упору № 2 . Після опускання другого упору рулон скочується на підняту решітку приймального рольганга . Решітка з рулоном опускається, і рулон встановлюється на транспортний рольганг . Рулони, призначені на відпал, по транспортному рольгангу надходять до кантувача, де кантуются у вертикальне положення і потім встановлюються на ланцюговий транспортер. З ланцюгового транспортера електромостового краном вони перевантажуються на трансферкара для передачі в термічне відділення.

Прокатані рулони піддаються термічній обробці призначена для зняття наклепу і забезпечення хороших пластичних властивостей. Тому холодні смуги піддають рекристаллізаціонному відпалу в спеціальних термічних печах. Для відпалу рулонів використовують одностопні колпакові відпалювальні печі.

Рулони встановлюють на стенд в кілька ярусів і відокремлюють один від іншого конвекторнимі прокладками , які покращують циркуляцію газу. Верхній рулон накривають кришкою. Всю садку закривають муфелем з жаростійкої листової сталі товщиною 6 мм.

Підстава муфеля засипають піском. Садку під муфелем накривають нагрівальним ковпаком , який представляємо собою циліндричний каркас , футерований ультралегковесним цеглою. У нижній частині нагрівального ковпака розміщуються 8 інжекційних пальників до яких за спеціальними колекторам надходять повітря і газ. Для запобігання окислення поверхні відпалаємих смуг повітря з під муфеля підсмоктується і замість нього подається захисний газ, який в процесі відпалу циркулює між рулонами за допомогою вентилятора.

Режим відпалу сталі 08кп включає три періоди:

- Нагрів металу від вихідної температури до заданої температури відпалу 650 -670 ^{0}C

- Витримка рулонів при температурі відпалу на протязі 7-12 годин

- Охолодження до температури навколишнього середовища.

Після охолодження рулони передаються в дресирувальним відділення. Дресирування (прокатка з малим обтисненням) надає металу поверхневий наклеп, тобто поверхневе зміцнення. Обтиснення при дресируванні повинно бути 0,8 - 1,2%, тому деформація зерен відбувається тільки на поверхні, в результаті чого виходить підвищена жорсткість поверхневих шарів металу. У процесі дресирування змінюються механічні властивості металу без істотного мікроструктури , також зменшується коробчатість і хвилястість металу. Дресирування виробляється на двох станах 1700-1 і 1700-2 після чого рулони відправляються на порізку на агрегати АПР- 1, АПР- 2, АПР- 3, АПР- 4 і на АПР- 5 або на упаковку.

Після різання пачки листів упаковують або відправляють на додаткову сортування залежно від вимог замовника. Перед упаковкою бруківці кран укладає пачки листів на заздалегідь підготовлені дерев'яні бруски підкладки перетином 90×90 мм до яких прикріплені скобами холоднокатані пакувальні стрічки перетином 1,5-2,0×30 мм. Залежно від розмірів листів пачки упаковують на поперечних брусках або на поздовжніх або одночасно на поздовжніх і поперечних.

Пачку обгортають пакувальної папером і листом (який режітся на ширвжитку) і натягується поперечними і поздовжніми стрічками. Упакування пачки зважують і відправляють на склад або в відвантаження, де відбувається завантаження вагонів готовою продукцією.

1.4 Причини утворення дефекту злом

При дослідженні процесу холодної прокатки значне місце приділяється вивченню впливу технологічних факторів на виникнення дефектів поверхні металу. Даний дефект проявляється у вигляді темних шорстких смуг і розгалужених ліній, розташованих переважно під кутом 45° до напрямку прокатки або дресирування і утворюються під дією локальних напруг, що перевищують межу текучості металу. Він є наслідком пластичної деформації поверхневих шарів і відрізняється від матеріалу смуги кольором і часто толшиной [3].

Основними факторами, що впливають на виникнення і розвиток зламу, вважаються [4]: незадовільний поперечний профіль підкату; натяг при смотці, що перевищує встановлені норми; неплощинність смуги після холодної прокатки ; низька шорсткість металу; режими термічної обробки; умови розмотування рулону на дресирувальним стані. Вплив кожного фактора досить добре вивчено, але їх спільний вплив на утворення зламу досліджено недостатньо.

Найбільш досліджена ймовірність виникнення зламів, пов'язана з видами епюр питомих натягів, що відображають односторонню крайову, некраевую і особливо локальну неплощинності [6, 7]. Смугу, що має задану поперечну різнотовщинність (поперечний профіль), необхідно прокатувати з певним розподілом питомих натягів для вирівнювання межвиткового тиску по висоті рулону.

Розташовані зломи перпендикулярно до поздовжньої осі смуги а іноді під кутом до осі, близьким до 45° (так звані лінії зсуву). Перший вид утворюється під дією нормальних напружень розтягування і згинальних напружень; в освіті другого виду беруть участь, крім вказаних, дотичні напруження [4] та ін.

Головна причина його утворення на заключному переділі полягає в зварюванні витків при відпалі рулонів в колпакових печах. Основні напрямки

вирішення поставленого завдання були наступні: дослідження точності гарячої прокатки, наявність локальних потовщень по ширині смуги і площинності; вдосконалення режиму безперервної холодної прокатки для забезпечення необхідної точності, площинності і шорсткості та запобігання появлення подряпин, рисок, відбитків натиснув і ін. Удосконалення режимів термічної обробки в колпакових пічках; визначення вимог до дресирування і різанні металу.

Основний вплив на температурне поле рулону надає його розташування у стопі. Як приклад далі будемо розглядати стан рулону, що знаходиться в середині садки. Для такого рулону будемо приймати, що по його висоті розподіл температури симетричне (температура на торцях однакова). Причому, різниця температур по закінчення 1 години після початку охолодження по радіусу рулону між зовнішньою поверхнею і серцевиною становить порядку 80-90 °С, а між внутрішньою поверхнею і серцевиною 30-40 °С. Градієнт температур на зовнішній і внутрішній поверхні по висоті рулону незначний і приблизно дорівнює 5-7 °С (найбільш прогріта центральна частина), між серцевиною і торцевою поверхнею рулону 8-10 °С.

Поле термічних напруг $\sigma_т(r_i, y)$ і температурне поле $\theta(r_i, y)$ в рулоні після охолодження протягом 1 години показано на (Рис. 1.9 , 1.10). На ньому представлено поле сумарних (результуючих) радиальних напруг $\sigma_\Sigma(r_i, y)$ в рулоні в процесі відпалу: $\sigma_\Sigma (r_i, y)= \sigma_т(r_i,y) + \sigma_R(r_i,y)$

Максимальне значення сумарних напружень $\sigma_\Sigma(r_i, y)$ становить 32,569 МПа (r_i = 679 мм; ***y*** = 720 мм; (див. Рис. 1.10).

Отримані результати свідчать про те, що максимальні сумарні напруги $\sigma_\Sigma(r_i, y)$ рулоні визначаються термічними напруженнями і знаходяться по радіусу рулону в діапазоні 670—685 мм. По висоті рулону (ширині смуги) найбільші значення $\sigma\Sigma$ (ri, y) відповідають великим розтягуючим напруженням $\sigma_{хол}$ (r_i, y) формованим при намотуванні рулону. Дані експериментальних досліджень показують, що при розмотуванні рулонів, відпалених по режиму 1 (див. табл. 1.1), на дресирувальним стані дефект

"злом" носив яскраво виражений характер в центральній частині по ширині смуги і по радіусу рулону в діапазоні 650-730 мм, при зовнішньому радіусі рулонів 940-960 мм. З зіставлення даних експерименту і розрахунку слідує, - що місця розташування дефекту "злом" по радіусу відповідають ділянкам, які мають найбільші значення сумарних напружень σ_Σ (r_i, y).

Як було показано, дефекти поверхні полос більшою мірою визначаються напружено - деформованим станом намотаного рулону і його зміною під впливом технологічних умов подальшої обробки (відпалу та дресирування). "Зашумлення" зазначених, процесів, їх складність, наявність взаємно впливаючих перетинань зв'язків, одним словом - близькість до випадкових, а також відсутність прийнятних для практичного використання теоретичних залежностей, зумовили застосування для побудови математичної моделі підходу, заснованого на експериментальній ідентифікації безпосередніх вимірювань.

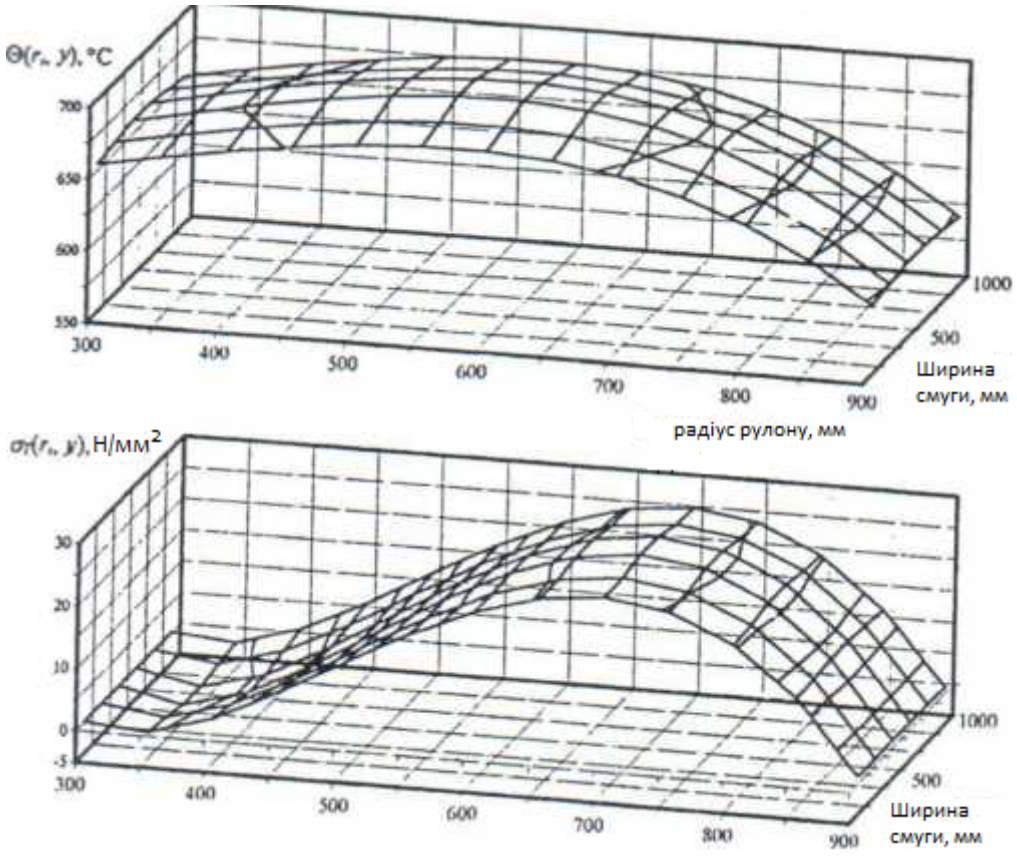


Рисунок 1.9 – Температурне поле $\theta(r_i, y)$, поле термічних напруг $\sigma_т(r_i, y)$ в рулоні після охолодження протягом 1г

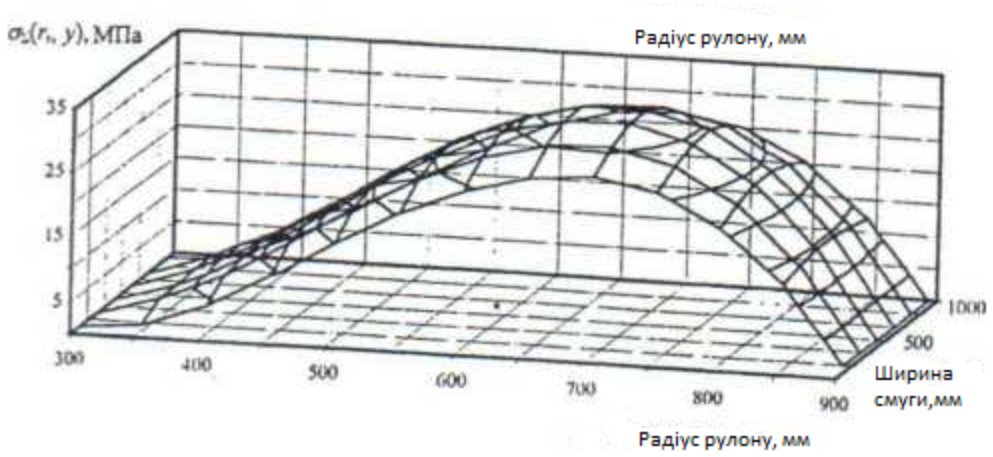


Рисунок 1.10 – Поле сумарних напруг $\sigma_\Sigma(r_i, y)$ в рулоні після охолодження протягом 1г

Дефект "злом" виникало тільки при режимі відпалу 1 - СВ, ЗВ (див. табл. 1.1). При розмотуванні на дресирувальному стані найбільш інтенсивне утворення "зломів" спостерігалося в середній частині по радіусу рулону і на центральних ділянках по ширині смуги, де зварювання (злипання) витків було максимальним.

Найбільша частота появи дефекту "злом" коли поперечний профіль смуги мав асиметричний вид, прокатаний з епюрою питомих натягів симетричного характеру.

Таблиця 1.1 – Режими відпалу в ковпакових печах

Номер режиму відпалу в КП	Категорія витяжки готового прокату	Кількість рулонів шт.	Перша стадія відпалу			Друга стадія відпалу		
			$t_в$ С	$\tau_{в.\,Г}$	$\tau_{о,\,Г}$	$t_в$, С	$\tau_{в,\,Г}$	$\tau_{о,\,Г}$
1	СВ, ОСВ	44	550-570	20-21	23-24	680-690	22-24	23-26
2	ВГ	38	580-600	20-21	32-34	-	-	-
Примітка. $t_в$ і $\tau_в$ - температура і час витримки, $\tau_о$- загальний час стадії								

1.5 Аналіз причин утворення дефектів поверхні автолистової сталі

Аналіз дефектів поверхні автолистової стали показав що переважає дефект "злом" так як на його освіту впливає сукупність технологічних факторів від виплавки до дресирування і порізки на холодному переділі. Часто пошкодження поверхні пов'язано зі зварюванням витків рулонів в ковпакових печах відпалу.

Для виробництва холоднокатаної сталі з високою якістю поверхні і поліпшеною шорсткістю була розроблена нова технологія, яка включила: новий спосіб намотування холоднокатаних рулонів; використання конвекторних кілець нової конструкції при відпалі рулонів в колпакових печах; новий спосіб поверхневої обробки робочих валків 3-й кліті і дресирувального стана.

1.5.1 Покрашення режиму змотування рулонів

Відомо, що підвищена щільність змотки рулонів сприяє зварюванню витків при відпалі, а знижена шорсткість і щільність піків, загальна і локальна неплощинність, забрудненість поверхні є додатковими усугубляючими факторами [8].

Розробка способів змотки з низьким рівнем натягу на моталці стало основним напрямком вирішення даної проблеми.

Існує ряд режимів змотки [9] зі зміною натягу з метою запобігання втрати стійкості рулону після зняття його з моталки. Початок смотки в основному ведуть із натягуванням, в кілька разів перевищують технологічне, а потім воно змінюється за різними законами: параболическому, синусоидальному із зменшенням до кінця змотки та ін. Однак, при цих режимах технологічний рівень натягу становив 30—40 Н/мм^2, що сприяло, зварюванню витків при відпалі. Відомий спосіб змотки з пониженим натягом на моталці (в межах 22—25 Н/мм^2), при якому початок і закінчення змотки

проводиться із збільшеним в 2-5 разів натягом - при формуванні внутрішнього і зовнішнього шарів рулону товщиною до 100-150 мм на радіус. Даний спосіб при використанні АСУ режимом змотки був впроваджений на стані 2030. На контрольних партіях металу потокового виробництва спостерігали зниження дефекту "злом" в 2,2-2,6 рази. На основі зазначеного способу розробили досконаліший режим змотки, спрямований на зниження термічних міжвиткових напружень в центральних частинах рулону.

Для цього після заправки смуги у барабан моталки з натягом, у 2-5 разів перевищують технологічне, його знижують до величини, рівної 0,8-0,9 від технологічного натягу, отримуючи частина рулону з діаметром, рівним 0,10-0,14 від кінцевого. Подальшу змотування до діаметра, рівного 0,87 - 0,90 від кінцевого, ведуть періодично збільшуючи натяг (за лінійним законом) до 1,1 -1,2 і зменшуючи до 0,8-0,9 від величини технологічного, кожен раз намотуючи шар, рівний 0,035-0,05 величини кінцевого діаметра рулону.

Остаточну змотування шару, що складає 0,1—0,14 кінцевого діаметра рулону, виробляють із збільшенням натягу в 2-5 разів щодо технологічного (заданого) величиною 22—24 Н/мм^2.

Дослідженнями впливу величини технологічного натягу на зварювання або сильне злипання витків при відпалі встановлено, що граничний рівень натягу, що приводить до "злому", становить 27 Н/мм^2. при подальшому зменшенні натягу при дресируванні спостерігається тільки злипання, а при його величині 24 Н/мм^2 — легке злипання або безшумний сход витків з розмотувача дресирувального стана.

Прийняте "періодичне" намотування частин рулону додає його центральній частині властивості спіральної маятникової пружини. Ділянки, змотані із збільшеним натягом надають твердість рулону за його перетину і висоті, запобігаючи можливість зміщення середніх частин рулону при його кантування і транспортування у вертикальному положенні. Ділянки з низьким рівнем натягу дозволяють виробляти стійку змотування без осьового

зсуву витків і не заважають радіальному зміщення щільно укладені частин через нерівномірність розподілу температури при нагріванні й охолодженні рулону в ковпаковії печі. Враховуючи, що особливу небезпеку по зварюванню витків являє період охолодження рулону (внаслідок різкого охолодження зовнішніх і внутрішніх витоків і нерівномірного розподілу температури по його перетину), що чергуються ділянки з збільшенням і зменшенням натягу змотки дозволяють диференціювати теплові зміщення в перетині рулону на всій його товщині. Низький рівень напруги змотки рулонів дозволяє ефективно протидіяти зварюванню витків, але не може виключити його повністю; одночасно на виникнення "злому" впливають багато факторів: недостатня шорсткість і щільність піків у смуги після холодної прокатки, значна неплощинність смуг, нерівномірність нагрівання та охолодження рулону в печах та ін.

1.5.2 Вдосконалення конвекторного кільця

Для підвищення рівномірності нагрівання й охолодження периферійних і центральних частин рулону в процесі відпалу розроблена нова конструкція конвекторного кільця (Рис. 1.11).

Конвекторне кільце складається з двох зовнішніх 1 і двох внутрішніх 2 опорних кілець, з'єднаних радіальними перегородками 3 і радіальними ребрами 4, що утворюють циркуляційного канали 5 і 6. Опорні ребра мають отвори 7 і на своїй робочій поверхні сферичні проточки 8, виконані під кутом до радіусу рулону (радіально похилі). Проточки можуть бути виконані, наприклад, фрезеруванням. Грані опорних ребер на робочій поверхні виконані сферичної форми. Радіальні ребра - перегородка 9 розташовані симетрично щодо верхніх і нижніх опорних кілець і утворюють з радіальними перегородками 3 і торцями рулонів відкриті циркуляційні канали 6. З боку внутрішніх і зовнішніх опорних кілець ребра мають отвори 10, 11 у формі, наприклад, квадратичної або біквадратичних параболи.

Кріплення опорних ребер 4, радіальних перегородок 3 і радіальних ребер здійснюють зварюванням. Через закриті 5 і відкриті 6 радіальні циркуляційні канали подають захисний газ. Наявність внутрішніх і зовнішніх опорних кілець 1, 2 зменшує теплообмін між захисним газом, що надходить в циркуляційні канали, і периферійними торцями рулонів, тобто нагрів відбувається через екран. Це дозволяє сповільнити швидкість нагріву периферійних частин рулону до температури відпалу і знизити швидкість охолодження цих ділянок після зняття ковпака. Подаваний газ по каналах 6 через отвори 7 по сферичним каналах 8 додатково надходить до торців рулонів, що контактують з небезпечними місцями.

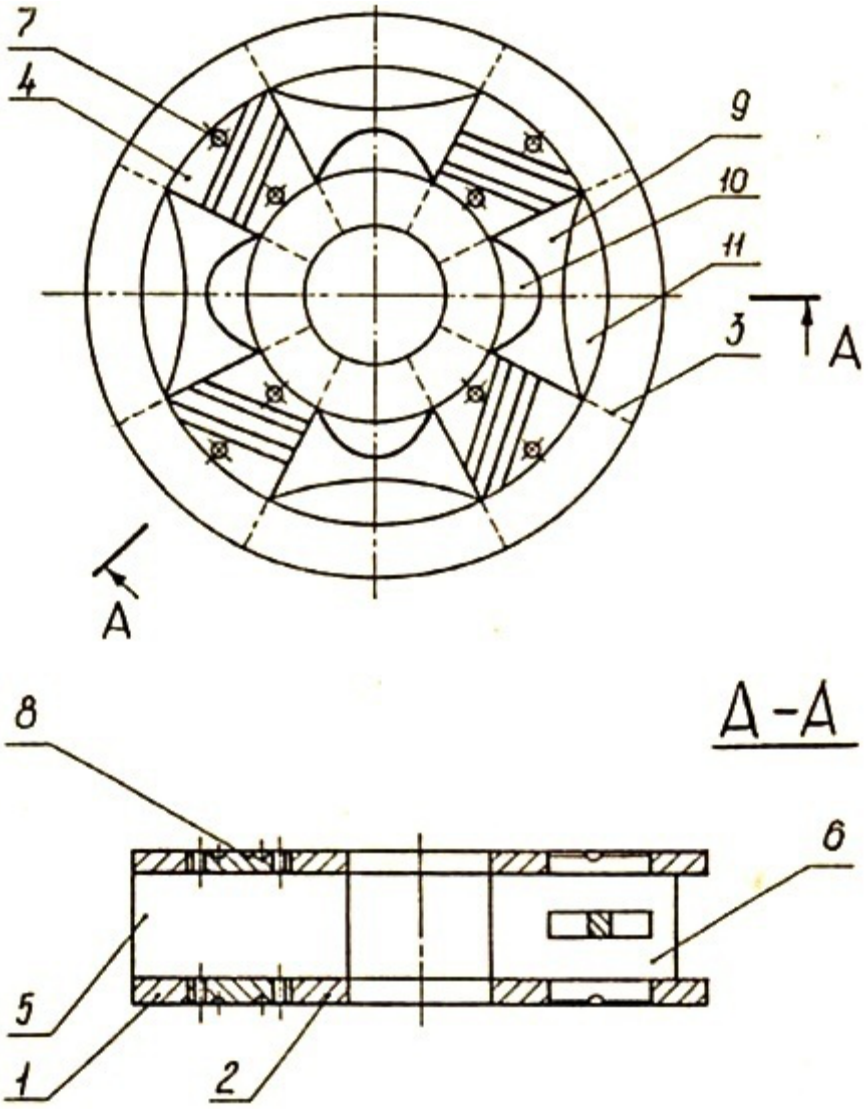
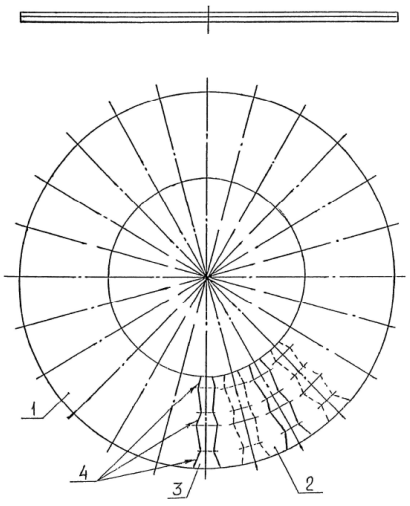
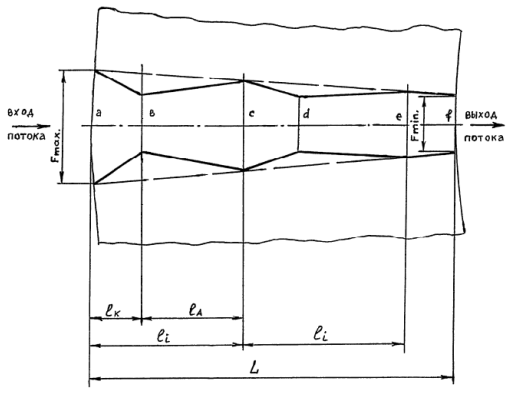


Рисунок 1.11 – Конвекторне кільце нового типу

Отвори 10, 11 в радіальних ребрах створюють взаємно регульовані газові потоки двох відкритих циркуляційних каналів, утворених радіальними ребрами 9. Перевагами конвекторного кільця нового типу над старим (Рис. 1.12) є зростання швидкості нагріву центральних частин рулону, "відстаючих" по нагріванню, зниження швидкості нагріву периферійних частин рулону, зменшення температурного перепаду по перетину рулону при нагріванні до температури відпалу,при охолодженні стопи рулонів зовнішні і внутрішні опорні кільця сприяють більш повільному охолодженню торців рулону, передаючи їм тепло від "відстаючих" з охолодження центральних частин рулону через радіальні опорні ребра.



а)



б)

а) - схема перерізу каналу конвекторного кільця від входу в канал до виходу;

б) - загальний вид каналів конвекторного кільця;

Рисунок 1.12 – Конвекторне кільце старого типу

Конвекторне кільце старого типу для відпалу рулонів металу містить диск 1, радіальні опорні ребра 2, утворюючи циркуляційні канали 3 перемінного перерізу, ці циркуляційні канали виконані у вигляді послідовно розташованих конічних дифузорів 4 при загальному зменшенні площі вихідного перерізу дифузорів в напрямку руху потоку. [4]

Нижче представлені основні розміри різних конвекторних кілець. (Табл. 1.2)

Таблиця 1.2 – Основні розміри різних конвекторних кілець

Тип конвекторного кільця	Диаметр кільця, мм		Товщина кільця, мм
	Зовнішнє	Внутрішнє	
Конструкція ПАТ "НЛМК"	1950	610	170
Конструкція МТ (нижнє)	2290	520	200
Кільце печей "Ебнер"нижнє середнє	2040 1890	580 710	- 80
Кільце печей "Стальпроєкт" (Х-образне)	2250	540	75

1.5.3 Підвищення шорсткості валків електрозорядною обробкою

Відомо, що дробоструминний метод підвищення шорсткості валків, як найбільш широко застосовуваний в прокатному виробництві, дозволяє досягти щільності мікронерівностей на смузі до 60 на 1см при ізотропності

0,6-0,7 при чому різниця в показнику шорсткості подлине бочки може досягати 8-15% від необхідної [9]. У процесі прокатки стираються в першу чергу найбільш виступаючі піки. Електророзрядними обробка валків дозволила отримати шорсткість, що забезпечила робочим валянням набагато більш високі експлуатаційні характеристики в порівнянні з обробленими дробеструйним способом [10]. Були проведені великі дослідження процесу електророзрядної обробки та знайдено нові технічні рішення щодо його удосконалення та стабілізації, підвищенню якісних характеристик шорсткості і скорочення часу обробки валка. Для розширення технологічних можливостей отримання показника шорсткості в межах від 1,0 до 8,0 мкм шляхом стабілізації температури електроліту в межах 30-35 °С і підвищення щільності струму без підвищення споживаної енергії в робочу ванну на відстані від рівня електроліту, рівному 1/3-1/5 загальної глибини робочої ванни, поміщають додатково на весь перетин ванни сітчастий анод переважно з круглими осередками по 2,0-4,0 см . При цьому в ванну подають електроліт в кількості 15-25 $м^3$/ч. а в системі його циркуляції використовують теплообмінник, який гальванічно пов'язаний з усіма вузлами установки.

На Рис. 1.13 зображена схема запропонованого технічного рішення. Збільшення щільності струму з 800-900 А до 1100-1200 А за рахунок додаткового застосування сітчастого анода дозволило прискорити процес обробки, а збільшення виділяється при цьому на катоді (валку) тепла та більш інтенсивний нагрів електроліту у ванні компенсувати посиленням циркуляції робочої рідини (підвищуючи витрата до 15-25 $м^3$/год замість 10-15 $м^3$/год) і установкою високоефективного теплообмінника.

Крім того, сітчастий анод усунув нуртування подається в ванну електроліту, що підвищило рівномірність шорсткості по довжині бочки з розкидом не більше 2% від необхідної величини.

Надійність підведення струму до валку, простота установки і видалення обробленого валка досягнута за рахунок застосування спеціального струмопідвідного пристрою, що має дві опори, кожна з яких виконана у

вигляді пари електропровідних приводних циліндричних роликів з кільцевою проточкою по їх утворює, в яку покладена загальна для кожної пари гнучка струмопровідна шина, що охоплює утворить валка між роликами. Привід роликів дозволяє плавно регулювати швидкість обертання валка.

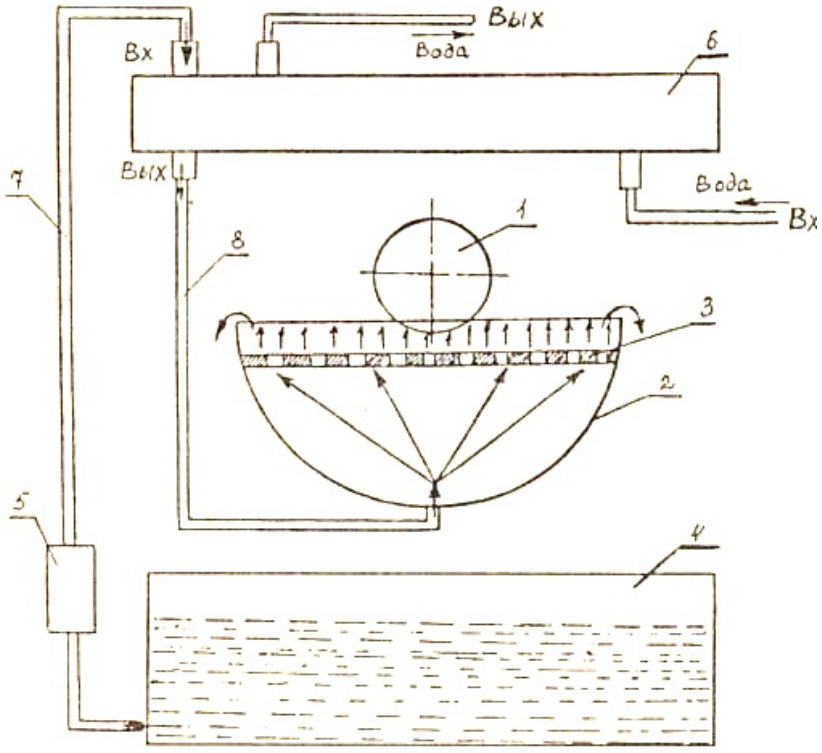


Рисунок 1.13 – Робоча ванна с зануреним валком

Такий пристрій дозволяє одночасно виконувати п'ять функцій: опор валка, приводу його обертання при обробці, токоподвода до валку, стабілізації валка від осьових переміщень при його обробці, самозачісткі.

Застосування даної системи з термостабілізацією електроліту з усуненням його бурління, розробка надійного і з багатофункціональним струмопідведення пристрої, дозволили отримувати необхідну шорсткість з щільністю піків 80-180 на 1 см, ізотропною 0,9-1,0 без додаткового збільшення споживаної електроенергії. Час обробки, наприклад, для досягнення Ra-=3,0 мкм скоротилося з 20-22 до 13-14 хв.

Електророзрядними обробка робочих валків з отриманням зазначеної щільності піків сприяє запобіганню зварювання витків при відпалі.

Дресирування валками, оброблених цим способом, дозволяє отримувати лист з показником шорсткості необхідної споживачами.

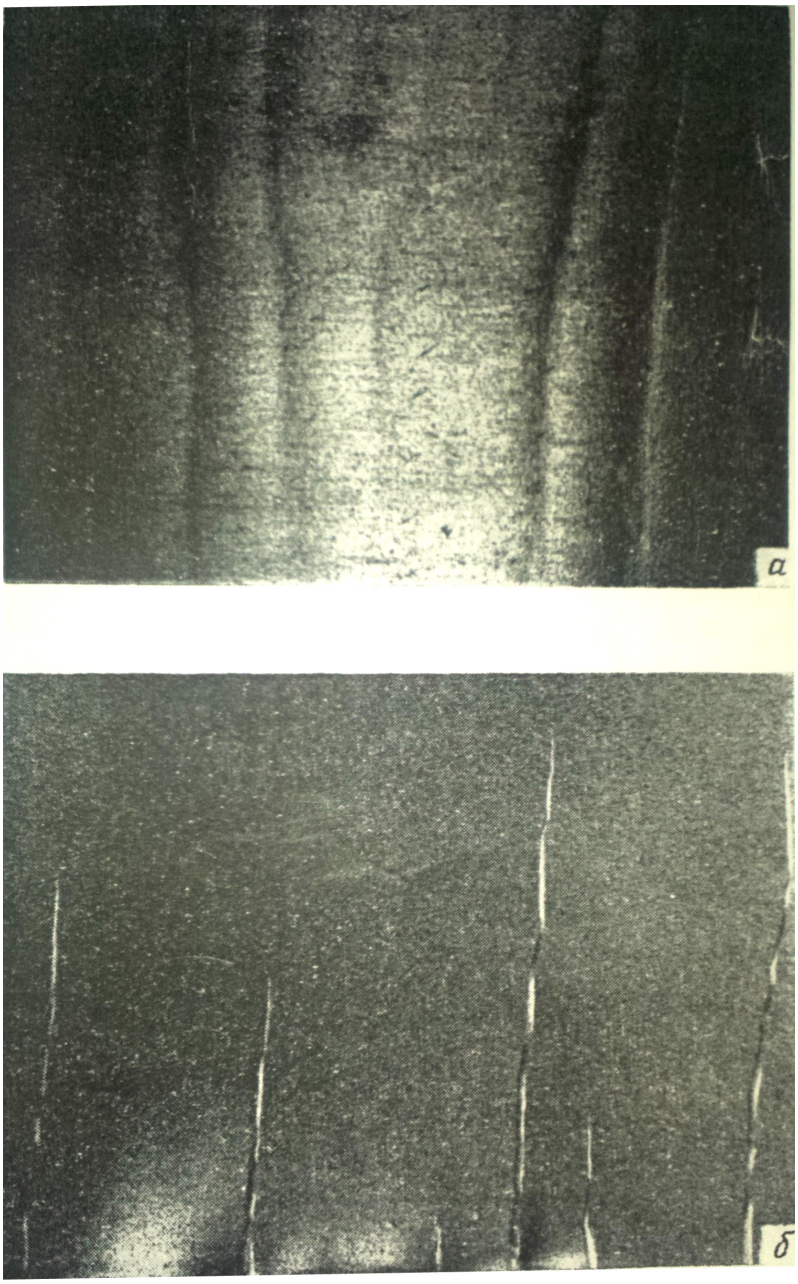
1.6 Мета та постановка задачі

Після перекладу виробництва холоднокатаних конструкційних листів на рулонний спосіб на поверхні смуг почали з'являтися дефекти, що дістали назву "злам". Ці дефекти найчастіше утворюються при згортанні в рулони і розмотуванні смуг, що відпалюють, і є поперечними світлими смужками з шорсткою поверхнею на темнішому фоні іншого металу (Рис. 1.14). У ряді випадків поява таких смужок супроводжується місцевим стоншуванням листа.

Дресирування холоднокатаних смуг на заводі "Запоріжсталь" здійснюється на станах 1700 № 1 та № 2. Відпалений рулон надягають на барабан розмотувача і потім щільно закріплюють. Передній кінець смуги послідовно пропускають через S -подібне натягач, робочу кліть і задають в зів барабана моталки. Дресирування проводиться (Рис. 1.15) з переднім натягом, створюваним моталкою, і заднім, створюваним розмотувачем і натяжним пристроєм.

До останнього часу відсортовує листів, отриманих рулонним способом, по зламів була значною.

Після досягнення необхідного натягу всі механізми стана включають спочатку на заправну, а потім на робочу швидкість. Спостереження показали, що злами утворюються безпосередньо при розмотуванні смуги з рулону (у вузлі розмотувача) і на роликах переднього натяжної пристрою. На металі, що пройшов дресирування, зустрічаються злами двох видів: що поширюються на всю ширину смуги і не супроводжуються її потоншення в місці зламу; вражаючі головним чином кромку смуги і супроводжуються місцевим потоншенням .



а) по ширині; б) - крайові;

Рисунок 1.14 – Злам на штабі

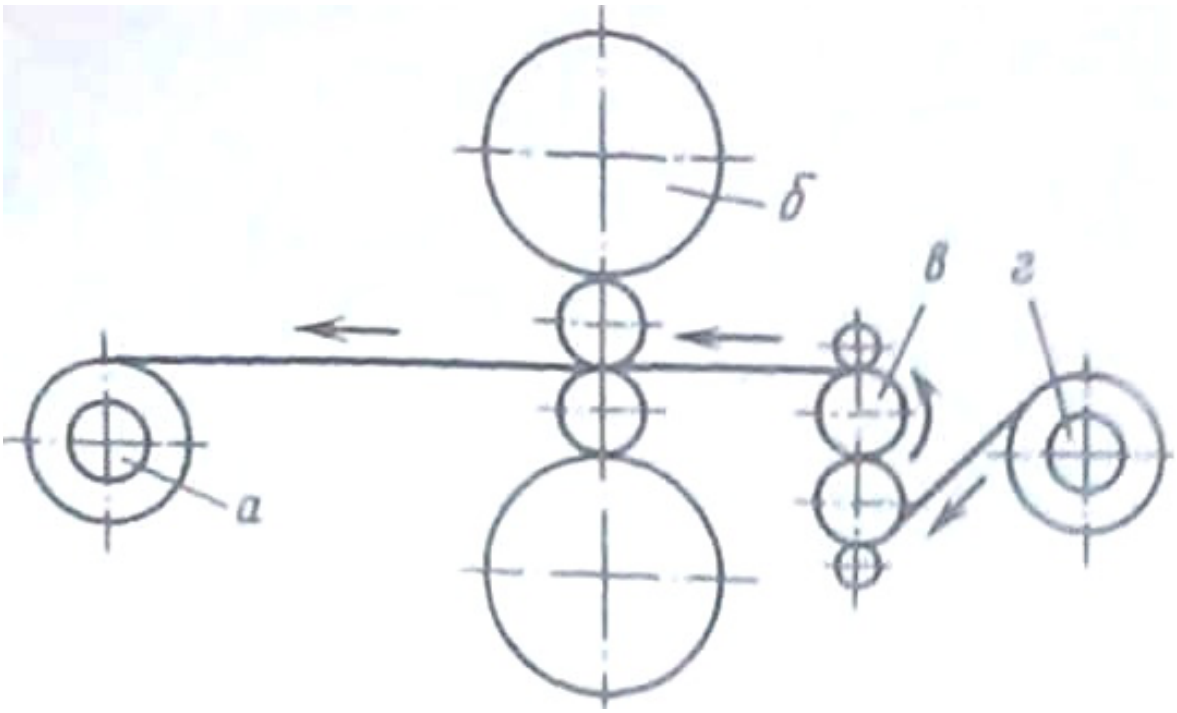


Рисунок 1.15 – Схема дресирування

Злами першого виду з'являються на смузі зазвичай при згинанні її на нижньому ролику натягача і чітко видно на металі до дресирування. При проходженні смуги через робочі валки ці злами зникають і не є причиною для відсортування листа. Однак при подальшій штампуванні зломи можуть виявлятися знову у вигляді ліній ковзання (ліній надлому), погіршуючи зовнішній вигляд деталі Злами другого виду дресируванням не усуваються і є бракувальною ознакою.

Для досліджень причин появи зламів спроектували і виготовили спеціальну «евольвентної » установку (Рис. 1.16) , що забезпечує плавний з усе уменьшающимся радіусом кривизни вигин отожженной смужки - зразка із змінним в необхідних межах натягом. При випробуванні фіксували момент появи зламів і відповідний йому радіус кривизни зразка. Варіюючи товщиною і механічними властивостями зразків, а також величиною питомих натягів, вдалося отримати кількісні залежності радіуса кривизни смуги при її вигині в момент появи зламів від перерахованих факторів. Встановили , що

для запобігання утворення зламів необхідно мати співвідношення (для металу з σ_s = 24 кг/мм^2 при питомій натягу 7,0 кг/мм^2):

$$\frac{2Rкр}{h} \geq 470 \qquad (1.4)$$

де Rкр - радіус кривизни зразка при вигині, мм

h - товщина зразка, мм

Експерименти дозволили також встановити , що допустимий радіус кривизни смуги при її вигині (або випрямленні) тим менше , чим вище межа текучості сталі і нижче питомий натяг смуги. Таким чином, на дресирувальним стані 1700 найбільш небезпечною операцією є вигин смуги на роликах натягача (Dрол = 500 мм) , так як для смуг товщиною 1,5-2,0 мм безпечне співвідношення D / h не дотримується.

На стані 1700 №1 злами з розтягуванням виникають зазвичай на правому по ходу дресирування кромці смуги, причому на смугах малих товщин довжина зламів досягає максимуму (200-250 мм). При дресируванні з натягом, створюваним розмотувачем , права кромка виявляється натягнутою, а ліва - провісшей.

Стріла прогину лівої кромки смуги на ділянці розмотувач - підтримуючий ролик (відстань близько 2,0 м) становить при цьому приблизно 80 мм, що свідчить про відсутність співвісності розмотувача і робочих валків. Це пояснюється недостатньою твердістю вала барабана розмотувача, який на стані 1700 №1 не мав опори на консолі. Під дією натягу смуги вал барабана розмотувача вигинався, а високі швидкості дресирування посилювали ексцентричність розмотувача внаслідок дії неврівноважених мас, викликаючи «биття» рулону з прославлянням лівої кромки Таким чином, права кромка смуги сприймала практично всі натягу розмотувача; питомі натягу в ній досягали межі текучості відпаленого металу, що призводило до утворення зламів з розтягуванням («крайових зламів»).

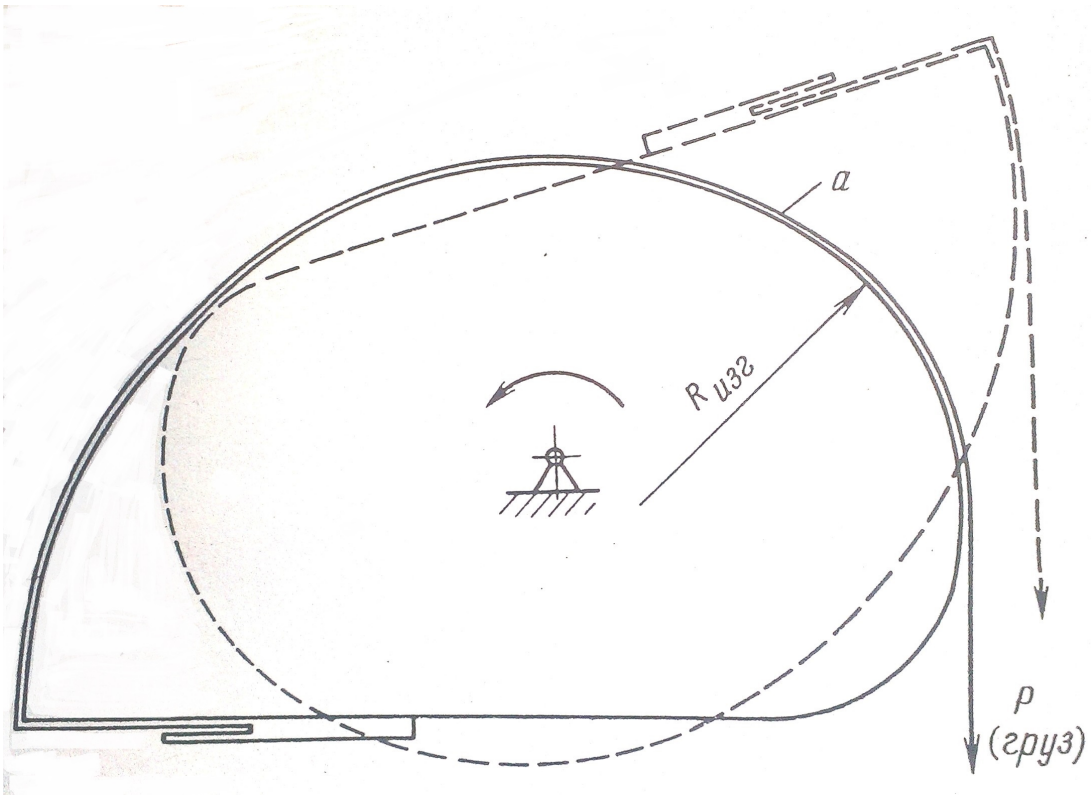


Рисунок 1.16 – Схема «евольвентної » установку

Надалі встановили, що вигин вала барабана розмотувача - не єдина причина нерівномірного розподілу натягу по ширині смуги. Так, з введенням в експлуатацію дресирувального стану 1700 № 2, розмотувач якого було обладнано відкидною опорою, виявилося, що характер розмотування рулонів практично не змінився, хоча провисання лівої кромки і величина зламів були значно менше.

При дослідженні виявили, що перетин вступників на дресирування смуг мало клиноподібну форму внаслідок непаралельності осей валків четвертої кліті і моталки чотирехклітьового стана. Тому при прокатці на правій (по ходу прокатки) кромці натяг, створюване моталкою, було вище, ніж на лівій. Нерівномірний розподіл натягу по ширині смуги створювало нерівномірність витяжки: права кромка виявлялася тонше і довше, а ліва - товщі і коротше. Прокочується смуга вийшла серповидної форми. При дресируванні таких смуг (в порівнянні з прокаткою кромки міняються місцями) права -

потовщена і коротша кромка (ліва при прокатці) сприймає зусилля натягу розмотувача і уражається зламами з розтягуванням.

Ліквідація перекосу осі моталки неповністю усунула нерівномірність розподілу натягу по ширині смуги при дресируванні. Нерівномірність натягу частково збереглася через коробоватості смуги, «пташок» та інших дефектів рулонів. Досліди показали також, що злами (у тому числі крайові) можуть утворюватися внаслідок надмірного заднього натягу смуги при дресируванні, зварювання витків рулону при відпалі, приварити радіальної обв'язки, недосконалості змотки рулону та ін.

На освіту зламів істотний вплив робить заднє натяг, створюване розмотувачем дресирувального стана . При освоєнні стану 1700 № 2 спочатку заднє натяг встановлювали постійним (залежно від розмірів смуг питомі натягу були в межах 5-10 кг/мм2). При дресируванні це призводило до значної ураженості зламами кромок смуг, особливо тонких (товщиною 0,5-1,0 мм). Експериментально довели, що для усунення зламів заднє натяг не повинно перевищувати 2 кг/мм2. Умови дресирування при цьому не погіршуються. Після ремонту моталки четирехклетевого: стана та відпрацювання режимів натягу відсортовує листів по зламів знизилася до мінімуму.

Дресирування зварених рулонів, як відомо, супроводжується різким, не по дотичній до кола рулону, а з деяким перегином, відділенням смуги. Такий різкий вигин смуги під дією значного натягу перетворюється на злам з розтягуванням.

Таким чином, вже при натягу в 4,5 кг/мм^2 не можна гарантувати повну відсутність зварювання витків після відпалу.

На стані холодної прокатки в даний час смуги прокочують з натягом 5 кг/мм^2 (з урахуванням умов прокатки, геометрії смуги і продуктивності стану).

Зменшення зварюваності рулонів при відпалі можна досягти також шляхом попередньої (перед відпалом) перемотування холоднокатаних рулонів.

Після ремонту моталки стану холодної прокатки і встановлення оптимальних режимів натягу при дресируванні на стані 1700 №2 піддали дресируванню плавку сталі 08кп, одну частину рулонів змотали на прокатному стані з натягом 5,0 і 3,0 кг/мм^2, а іншу, змотану на стані холодної прокатки з натягом 5,0 і 10,0 кг/мм2, перед відпалом перемотали на дресирувальним таборі 1700 № 1 з натягом 2 кг/мм^2:

Натяг при змотці на стані				
х\к прокатки кг/мм^2.....	5,0	3,0	5,0	10,0
Теж при перемотці на стані 1700.....	-	-	2,0	2,0
Оглянено листів т.....	107,8	89,1	91,8	30,3
Відсортировано по зломам т %.....	1,5	0	0,91	0,69
Відсортировано по зломам %.....	(1,39)	-	(1,0)	(2,28)

При смотка з натягом, рівним 5 кг/мм^2, без подальшої перемотування злами виявлені на окремих рулонах. У разі перемотування з натягом в 2,0 кг/мм^2 злами пов'язані з приваркою пакувальної стрічки і з Забоїни крайок. Проведені дослідження показують, що найбільш ефективним заходом, що запобігає злами від зварювання і що дає можливість працювати на стані холодного прокату без обмеження натягу, є установка агрегату для перемотування рулонів після холодної прокатки.

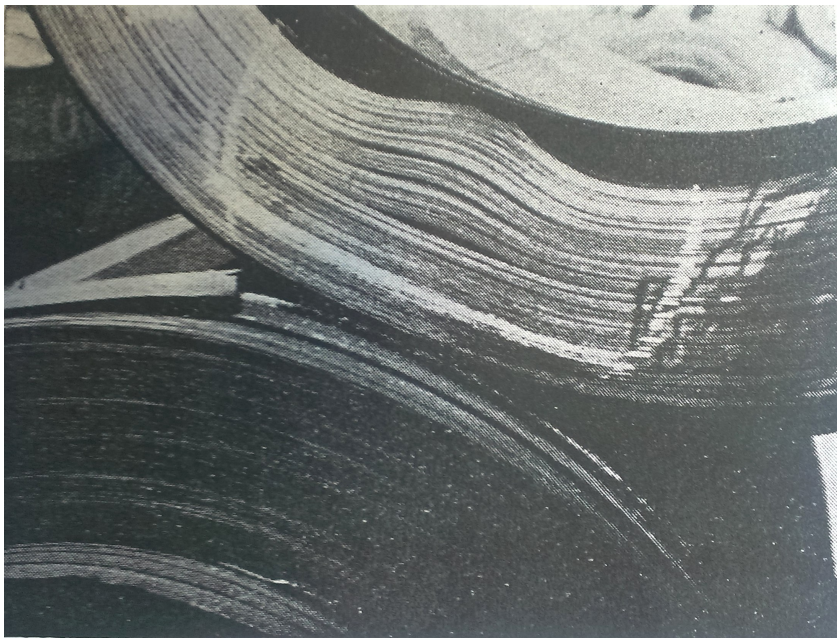


Рисунок 1.17 – Вид пташки на рулоні

При прокатці переднього кінця рулону на чотирьох - клітьовому стані через відсутність натягу смуга часто отримує нерівномірну витяжку - передній кінець її стає кліновідвим. Завдання такого кінця в зів барабана моталки супроводжується перекосом смуги і прослаблених одного з кромок. При намотуванні смуги на барабан прослаблених кромка, ущільнюючи, мнеться; після зняття рулону з моталки вона кілька вирівнюється, утворюючи на торці спучування. так звану «пташку» (Рис. 1.17). При дресируванні цих рулонів виникає «биття» і динамічні ривки кромок з утворенням зламів. Чим тонше смуга, тим сильніше вплив «пташки» на освіту зламів. Для усунення «пташки» необхідно мати захлестиватель смуги, аналогічний встановленому на станах 1700 Череповецкого металургійного заводу. До освіти зламів наводить також нерівна смотка або підмотка розірваних рулонів на четирехклетевом таборі, так як виступаючі витки при транспортуванні і відпалі мнуть і зварюються між собою. Дресирування пошкоджених рулонів супроводжується динамічними ривками, що викликають злами.

Після термічної обробки перед дресируванням рулони необхідно охолоджувати до 40-80 °С (залежно від групи витяжки). Встановлено, що

температура рулону також впливає на утворення зламів смуги (сталь 08пс, розмір 0,8 Х 1000 мм):

Температура ^{0}С	20	70
Оглянено листів т	33,8	7,0
Відсортировано по зламам т (%)	0,5(1,48)	2,0(28,6)

В даний час для запобігання утворення зламів рулони відповідального призначення перед дресируванням охолоджують до температури цеху. При існуючій схемі розмотування рулону на дресирувальних станах (рис.1.18).

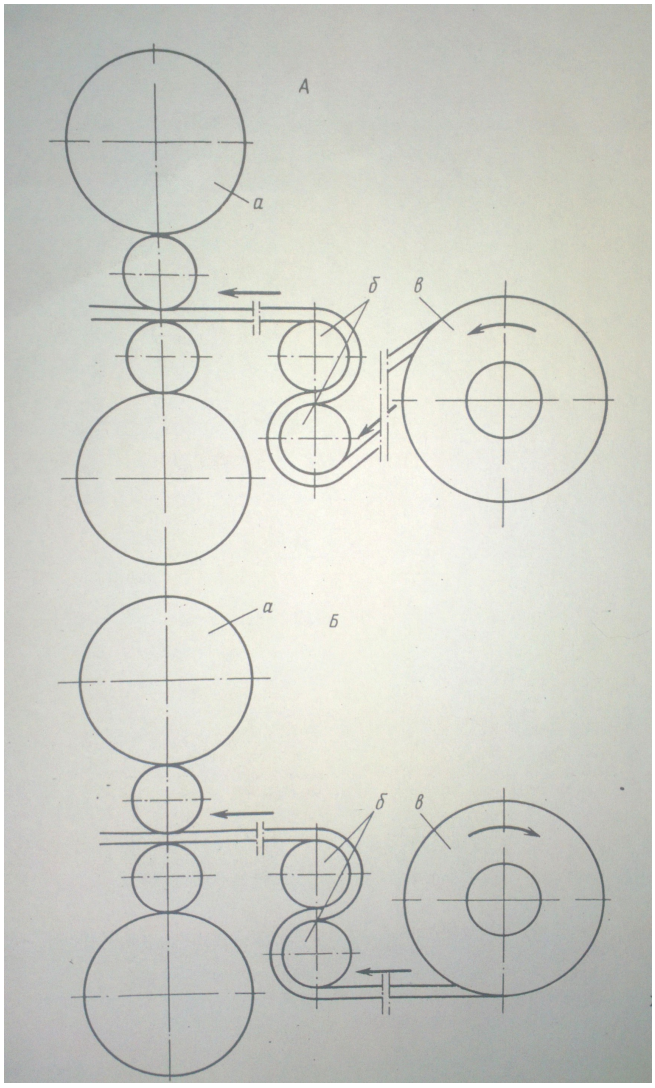


Рисунок 1.18 – Існуюча (А) і пропонована (Б) схеми розмотування рулону на стані 1700: а - валки робочої кліті, б - натягач; в - розмотувач

Деформація, пов'язана з випрямленням смуги, підсумовується з деформацією того ж знака від вигину її на нижньому ролику натяжної пристрою. Сумарна деформація шарів перерізу смуги виявляється істотною, зростаючою із збільшенням товщини смуги. У результаті великих сумарних деформацій також утворюються злами.

Якщо реконструювати вузол розмотування так, щоб рулон розмотувався знизу (Рис. 1.18), то розтягнуті при випрямленні шари смуги, звернені всередину рулону, при відгинанні нижнього ролика S-образного пристрої будуть стискуватися. При цьому сумарна деформація шару смуги зменшиться, а ураженість її зламами знизиться. На стані 1700 №2, де розмотувач розташований значно ближче до робочої кліті, ніж на станс 1700 №1, останнім часом дресирування смуг проводили без використання переднього натяжного пристрою. Цей досвід показує, що якщо розмотувач розташувати ще ближче до кліті (не далі 5,0 м), то без натяжної пристрою можна буде піддавати дресируванню весь сортамент смуг; виникненню зламів першого виду (без потоншення) при цьому буде повністю припинено.

Таким чином, можна зробити наступні висновки:

- були встановлені залежності $\sigma_т = f(\varepsilon)$, $\sigma_в = f(\varepsilon)$, $\delta_{10} = f(\varepsilon)$, HRB$= f(\varepsilon)$, $\sigma_т/\sigma_в = f(\varepsilon)$. Маючи комплекс цих залежностей визначили оптимальну степінь деформації, яка забезпечує високу пластичність, і достатню міцність холоднокатаних листів в процесі їх послідуючої холодної штамповки.

- проаналізований стан якості холоднокатаних штаб на стані холодної прокатки 1700. Встановлено, що використовуваний для прокатки підкат має різні дефекти механічних властивостей. Тому оптимізація параметрів прокатки є актуальною для розглянутого стана.

- в результаті аналітичного аналізу та проведених досліджень за рахунок вдосконалення технології дресировки холоднокатаних штаб із конструкційних маловуглецевих сталей 08кп і 08Ю розроблена методика регулювання та керування величиною відносного обтиску метала.

2 ДОСЛІДНИЦЬКА-РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА

2.1 Технологія дресирування

Рулони з термічного відділення транспортують мостовим краном (за допомогою кліщів) або на електрокарі до ланцюгового транспортера, стана і установлюють їх на візки транспортера. Ланцюговим транспортером рулони подаються до кантователя, яким кантуються з вертикального положення в горизонтальне. Потім рулон піднімальним столом установлюють на рівні барабана розмотувача і за допомогою візка, що переміщається, надягають на стислий до мінімальних розмірів барабан розмотувача.

Таблиця 2.1 – Вплив температури при дресируванні штаб товщиною 1 *мм* зі сталі 08кп із обтисненням 1% на їхні механічні властивості

Температура, °С	$\sigma_в$,МПа	$\sigma_т$,МПа	δ_{10}%	$HRB_{30/100}$
20	205 205	340 340	47 47	45 45
80	294 295	365 358	44 44	54 51
До дресировки				
— —	260 260	333 333	49 46	44 44

Рулон закріплюється на барабані при розтискуванні останнього. Поворотом барабана розмотувача рулон установлюють так, щоб зручно було задати передній кінець штаби в ролики, за допомогою яких штабу заправляють у валки стана.

По виходу з робочої кліті передній кінець штаби заправляють у щілину барабана моталки. Після створення необхідного натягу між валками і

моталкою, а також між валками і розмотувачем всі механізми стана включають спочатку на заправну швидкість, а потім переводять на робочу.

Задній кінець штаби по закінченні дресирування випускають при розведених опорних валках на відстань, рівну двом-трьом товщинам штаби. При цьому щоб уникнути наварювання металу штаби на робочі валки і прискорення завдавання наступної штаби в кліть відключають гідравлічне зрівноважування робочих валків і випускають задній кінець штаби, а також задають передній кінець наступної штаби.

Після задання у валки переднього кінця штаби чергового рулону включають знову гідравлічне зрівноважування робочих валків і встановлюють тиск відповідно до заданих норм обтиснення, після чого починають дресирування.

На дресировочний стан подають тільки повністю охолоджені рулони. При дресируванні недостатньо остиглого металу відбувається інтенсивне старіння його зі значним погіршенням механічних властивостей. При цьому сильно зростають границя текучості і твердість, трохи збільшується межа міцності і зменшується відносне подовження (табл. 2.1).

Вплив температури листа перед дресируванням на старіння проявляється вже при температурі вище 40°С. Практикою встановлені наступні граничні температури листів зі сталі 08кп при дресируванні залежно від групи витяжки.

Нестаріючі сталі 08Ю и 08кп можна дресирувати при підвищеній температурі (до 60° С) без остраху погіршення властивостей.

При розмотуванні відпаленої штаби в процесі дресирування часто утворюються зломи. Зломи утворюються найчастіше на крайках штаби. Після дресирування зломи зникають, однак при штампуванні деталей з таких листів у місцях розташування зломів з'являються своєрідні лінії зрушень (лінії надламів). Якщо в місці злому одночасно відбулося і розтягання штаби, то такі зломи видні і після дресирування (рис.2.1).

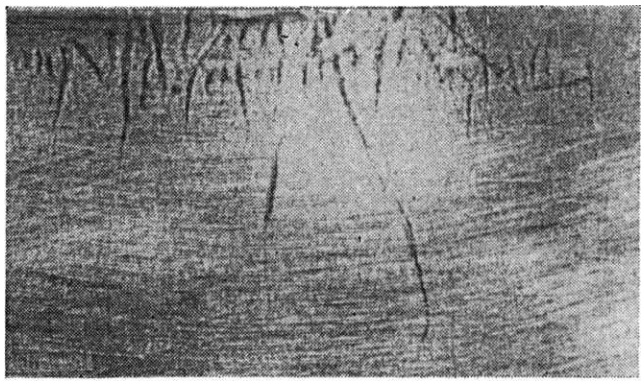


Рисунок 2.1 – Зломи на крайках дресированого листа зі сталі 08кп

Зломи на крайках штаби є наслідком головним чином нерівного намотування штаби в рулон при холодній прокатці. Виступаючі витки рулону мнуть при установці його на стенді відпалювальної печі і у деформованих місцях витки зварюються. При розмотуванні рулону в місцях зварювання утворяться зломи. Запобігання місцевого зварювання крайок рулонів і утворення зломів досягається обрізкою крайок гарячекатаних або холоднокатаних штаб.

Зломи утворяться також і при рівному намотуванні, коли штаба коробовата. У цьому випадку задній натяг штаби при дресируванні повинен бути мінімальним. При завищеному натягу при холодній прокатці відбувається зварювання витків рулонів, і утворяться зломи.

Зломи утворяться також при проходженні штаби через валки натяжного пристрою («вісімку»). Такі зломи при дресируванні зникають і в більшості випадків при штампуванні не виявляються. Якщо наступна обробка листа пов'язана з поздовжніми напругами, то зломи від натяжного пристрою можуть також виявлятися у вигляді ліній надламів.

Поверхню робочих валків для дресирування автолиста насікають, щоб одержати листи з матовою поверхнею. Незважаючи на те що при дресируванні на насічених валках трохи погіршуються механічні властивості листів, листи з матовою поверхнею штампуються краще, ніж листи із гладкою поверхнею [17,18].

Дослідження впливу мікрогеометрії поверхні листової сталі на припустимий ступінь витяжки $К = \frac{D}{d}$ (відношення діаметрів заготівлі і виробу) проведено в роботі [16] на 1000 зразках від листів зі сталі 08Ю товщиною 0,9-1,2 мм із різною шерхлістю.

Зразки штампували на пресі подвійної дії К - 460Б циліндричним гладким пуансоном діаметром 60 мм при постійному тиску (без змащення і зі змащенням зразка з боку матриці). Граничні значення D і К (у чисельнику - без змащення, у знаменнику - зі змащенням) отримані наступні:

Шерхлість:

Ra, мкм..……	15	8	4
D, мм……...	130/131	127/130	125/127
К..……....	2,166/2,183	2,116/2,166	2,083/2,116

З наведених даних видно, що припустимий ступінь витяжки К с збільшенням шерхлості листа трохи збільшується. Звідси свідчить, що при дресируванні не можна допускати надмірного виробітку робочих валків.

При дресируванні мікрогеометрія поверхні валків змінюється зі зменшенням шерхлості. З рис. 2.2 видно, що після дресирування 200 т листів шерхлість їхньої поверхні зменшується з 14 до 7 мкм; а після дресирування 600 т - до 4,5 мкм; при подальшому дресируванні шерхлість змінюється незначно. При дресируванні рулонів зношування поверхні валків спостерігається в меншому ступені.

Для зменшення зношування поверхні валків необхідно для дресирування застосовувати валки з максимально можливою твердістю (95—100 *HSh)*. Останнім часом за рубежем почали застосовувати робочі валки із хромованою поверхнею бочки [19].

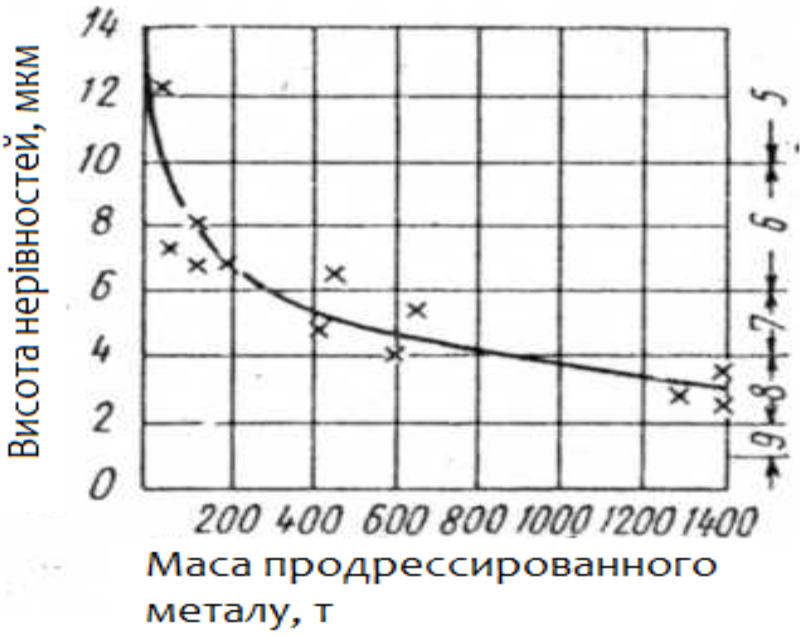


Рисунок 2.2 – Зміна мікрогеометрії поверхні валків дресировочного стана 1680 залежно від кількості продрессированного металу



Рисунок 2.3 – Вплив швидкості дресирування штаби 0,9х1170 мм на зміну ступеня деформації

Насічку валків роблять чавунним або сталевим загартованим дрібом на дрібоструйних або дрібометних машинах. Краща якість насічки забезпечується на дрібометних машинах [20]. Рівна матова

поверхня листів, без рисок досягається при прокатці у валках, насічених дрібом фракції 0,5—1,0 *мм* за п'ять-шість проходів сопла після полірування валків до 10— 12-го класу чистоти [17, 21].

Натяг при дресируванні рулонів вибирають залежно від марки сталі і розмірів штаби і він повинне бути таким, щоб не відбувалося пластичного розтягання штаби до дресирування. Натяг повинен бути рівномірний по ширині штаби, для чого рулон на барабані розмотувача повинен бути встановлений точно по осі стана.

За даними роботи [22], при дресируванні штаби товщиною 0,4—0,9 *мм* задній натяг (між кліттю і розмотувачем) приймають у межах ~ 35—40 МПа, переднє (між кліттю й моталкою)— у межах 50—60 МПа; при дресируванні більш товстих штаб задній натяг знижується до 15 МПа, а передній до 25 МПа.

Встановлено[17, 23], що з ростом питомого натягу деформація штаби збільшується, причому у випадку дресирування штаб з малою площею поперечного переріза (0,5х1000 *мм)* збільшення обтиснення досить значно (0,4—1,5%) при збільшенні питомого переднього натягу від 20 до 90 МПа (від 2 до 9 *кП/мм²)*. У зв'язку із цим при дресируванні штаби натяг необхідно підтримувати постійним. При зміні натягу необхідно коректувати обтиснення.

Дресирування рулонів на сучасних дресировочних станах виробляються зі швидкістю до 30 *м/сек.* У зв'язку із цим важливе значення має контроль витяжки штаби на таких високих швидкостях. При переході із заправної швидкості на робочу, значно змінюється деформація штаби.

При підвищенні швидкості дресирування деформація зменшується, а при зниженні швидкості збільшується при незмінній установці валків, причому зміна деформації досить значна (рис. 2.3). Так, при підвищенні швидкості дресирування штаби перетином 0,9 Х 1170 *мм* на стані 1700 від 3 до 11 *м/сек* зменшення деформації досягає

26,3% [17]. В інших випадках спостерігалася зміна деформації до 40-60% . Тому при зміні швидкості дресирування штаби необхідно вчасно коректувати ступінь обтиснення, щоб витримувати його в заданих межах.

Дресирування автолистовой сталі ведуть із наступними об тисненнями, %:

Кипляча і напівспокійна сталь…...…… 0,8—1,2

Нестаріюча сталь…….....1,0-1,4

Спокійна сталь……...…..……≤ 2

Листи для штампування декоративних деталей легкових автомобілів (бампер, ковпак колеса) з метою підвищення їхньої міцності дресирують із обтисненням близько 2%.

Контролюють обтиснення при дресируванні листів спеціальною скобою з базою 500 мм. за допомогою якої наносять ризики на листи до дресирування. Після проходу листа через валки по відстані між ризиками визначають витяжку. При дресируванні рулонів скобою користуватися незручно, тому що для вимірів необхідно зупиняти стан.

Для контролю ступеня деформації, а точніше витяжки, при дресируванні рулонів у цей час застосовують спеціальні автоматичні вимірювальні прилади. Вони вимірюють витяжку по різниці швидкостей руху штаби до валків стана і після них:

$$\lambda = \frac{v_2 - v_1}{v_2} 100\%,$$

де v_1 і v_2— швидкості руху штаби відповідно перед валками і після валків.

На трьох дресировочних високошвидкісних станах успішно застосували розроблений Центральною лабораторією автоматики (ЦЛА) імпульсний прилад автоматичного виміру ступеня деформації типу ИУП-5350 [24]. На спеціальних вхідному і вихідному вимірювальних роликах, що стикаються зі штабою і обертаються з кутовими швидкостями,

пропорційними швидкості на вході і виході, кріпляться диски датчиків. На утворюючій кожного диска нанесений кобальтонікелевий сплав. Імпульси тривалістю 80 *мксек* з постійною частотою 100 Гц надходять на записуючі головки і фіксуються на утворюючій диска у вигляді магнітних міток.

При пропущенні штаби без обтиснення імпульси з відтворюючих головок будуть надходити одночасно, і показання приладу будуть дорівнювати нулю. При обтисненні штаби імпульс відтворюючої головки, установленої після стана, буде приходити раніше. Ця різниця в часі пропорційна ступені обтиснення.

На одному із дресировочних станів використовують прилад автоматичного виміру витяжки, у якому витяжка розраховується з умови сталості секундних обсягів металу [25].

На сучасних високошвидкісних дресировочних станах усе ширше починають застосовувати системи, автоматичного регулювання ступеня деформації. Такі системи, впливаючи на натискні гвинти або на натяг, підтримують заданий ступінь деформації по всій довжині штаби.

Дресирування рулонів на станах 1700 виконується на валках з опуклістю 0,04-0,05 мм (верхній валок - опуклий, нижній - циліндричний).

Профіль верхнього робочого валка в процесі дресирування регулюють підігрівом за допомогою газових пальників. Пальники розташовують уздовж бочки валка через кожні 200 мм. У пальниках спалюють коксодоменну суміш. Величину факела регулюють вентилями, установленими перед кожним пальником.

На одному із дресировочних станів опуклим шліфували нижній опорний валок і зменшили опуклість верхнього робочого валка. При цьому одержали гарне викатування штаби. Тому що більша маса опорного валка менш чутлива до температурних змін, чим маса робочого валка, це дозволило підтримувати постійною теплову опуклість валків.

2.2 Матеріали та методики досліджень

Заміри профілю підкату зі сталі 08Ю товщиною 2,3-4,0 мм і шириною 1110-1820 мм показали, що при прокатці перших 600 т металу після перевалки робочих валків на першу групу обробки поверхні поперечна разнотолщинность становить від 0,02 до 0,09 мм по мірі збільшення товщини і ширини смуг. При цьому величина локальних потовщень для типорозміру 2,3-2,5х1170-1620 мм не перевищувала 0,01-0,02 мм, а для 3,0-4,0х1620 - 1780 мм становила 0,02-0,03 мм. При прокатці 1000-1500 т металу після перевірки поперечна разнотолшінность збільшилася до 0,04-0,12 мм, а локальні потовщення досягали 0,03-0,04мм.

Майже половина дефектів поверхні пов'язана з холодним переділом, який включає травлення, прокатку, відпал, дресирування, різання, додаткову транспортування рулонів, що в сукупності збільшує вагову частку дефектів поверхні смуг.

Режим намотування рулонів, нерівномірність межвиткового тиску по ширині смуги, яка залежить від характеру розподілу питомих натягів, рівень міжклітьових натягів, шорсткість поверхні змотувати смуг, ступінь забруднення їх поверхні впливають на зварюваність витків при відпалі.

Відомо, що рівень міжклітьових натягів впливає на ступінь самонівелювання нерівномірності деформації по ширині смуги і стабілізацію процесу прокатки. Холодну прокатку на стані 2030 ведуть з рівномірним питомою натягом смуги у всіх міжклітьових проміжках, рівним 100-1300 Н/мм^2. Дослідну прокатку смуг зі сталі 08Ю розміром 2,5х1620 - 1630 мм проводили по зростаючому режиму питомих натягів від першого до останнього проміжку. Величина їх склала (ліворуч і праворуч від косою риси - за звичайною технологією і при експериментах, Н/мм^2): 1 - 122/158; 2 - 120/171; 3 - 117/187; 4 - 127/235; на моталці - 330.

У процесі дресирування дослідної партії встановили, що зварювання витків або злипання малося на всіх рулонах, але більшою мірою на ділянках з

коробоватостью. У всій партії досвідченого металу спостерігався злом. Негативний вплив зростаючого режиму натягу по клетям, ймовірно, пов'язано з тим, що ефект самовирівнювання деформацій по ширині смуги менше, ніж ефект зменшення енергосилових параметрів. При наявних профилировкой валків зменшення зусилля прокатки і відповідно, прогину валків сприяє збільшенню епюри питомих натягів смуги в бік коробоватості, що і призводить до зварювання або злипання. На рулонах того ж типорозміру, прокатаних на стані 2030 із звичайним міжклітьових питомою натягом, при дресируванні спостерігалося незначне злипання витків та освіта злому по жолобу.

Напруження, що виникають в рулоні після зняття з барабана моталки, багато в чому визначаються загальним рівнем натягу при намотуванні, масою рулону, станом поверхні смуги, її формою і величиною поперечної різнотовщинності. Вони можуть призводити до втрати стійкості рулону і зварюванню витків при відпалі [12].

Вважається, що для запобігання зварювання витків мінімально допустиме питомий натяг намотування має становити 30 Н/мм^2. Однак на практиці воно досягає 40-45 Н/мм^2. ля запобігання утворення "пташок" і просадки рулону початок намотування проводять з натягом в 1,5-2,0 рази більше, ніж номінальне значення. Для зменшення зварювання витків застосовують різні закони зміни натягу в процесі намотування: параболічний і синусоїдальний або чергування видів неплощинності (хвилі і короба) по довжині рулону [11, 12]. Однак всі ці способи не виключають зварювання витків рулонів. Навіть при плоскій смузі через малу шорсткості і наявності жолоби проходить зварювання.

Для усунення зварювання витків на основній частині рулону і запобігання його просадки на НЛМК розробили сцособ намотування смуг, відповідно до якого початковий натяг в 2.0-3.0 рази більше заданого. Потім його зменшують за лінійним законом до заданого, рівного 20-25 Н/мм^2, після намотування 0,07-0,1 кінцевого діаметра рулону. Потім намотують з

постійним натягом, а частину, що залишилася (0,07-0,1) із збільшенням натягу за лінійним законом до початкового. Дослідну прокатку проводили на партіях смуг сталі 08Ю з кінцевою товщиною 0,76-2,0 мм і шириною 1255-1780 мм з першою групою обробки поверхні. Питомий натяг на моталці дорівнювало 20-25 Н/мм^2 (по ТІ - 32-35 Н/мм^2). За результатами різання злом на досвідчених партіях склав 3,57%, а на укладені з технічної інструкції - 13,6%. Спостереження за процесом розмотування при дресируванні контрольованого металу, якістю поверхні і характером зварювання дозволили встановити, що низький рівень натягу намотування істотно зменшує, а в деяких випадках повністю виключає (безшумний сход витків) зварювання витків при відпалі. Навіть при жолобі шириною 50-80 мм, локальному по ширині смуги, частота і протяжність зломів на досвідчених рулонах були в 3,0-3,5 рази менше, ніж у укладені по ТІ. Верхній і нижній рівні намотування за розробленим способом вибрали з умови запобігання зварювання витків при відпалі, виключення прослизання їх при намотуванні (утяжкі рулону) і просадки його після зняття з моталки.

Холоднокатану сталь 08Ю на НЛМК відпалюють за двоступінчастим режиму з проміжною витримкою при 500 °С. Гарячу продувку закінчують після першої витримки. Температурні перепади в процесі нагрівання досягають по висоті стопи 150-250 °С. До кінця другої витримки нерівномірність нагрівання по висоті стопи й перетину рулонів не перевищує 15-25 °С.

На рулон при відпалі впливають напруги, обумовлені режимом намотування, і термічні напруги внаслідок нерівномірності нагріву в радіальному і осьовому напрямках. Проведені розрахунки показали, що радіальні напруження досягають максимуму при максимальному перепаді температури в рулоні, тобто після 8-10 год після початку нагрівання. Відразу після зняття ковпака швидкість охолодження досягає 70-140 К/г. При різкому охолодженні зовнішніх витків радіальні напруження досягають значної величини, що сприяє злипанню або зварюванню витків. Для зменшення

можливості зварювання досліджували режим відпалу з температурою завдання з колпакової термопарі 800 °С і охолодженням стопи рулонів під ковпаком до 570-600 °С. Кожну половину плавки , прокатати на стані 2030 з низьким рівнем натягу (25 Н/мм^2) і по ТІ (35 Н/мм^2), ділили навпіл і відпалювали по досвідченому режиму і по ТІ.

Температурний режим контролювали по приладах і протоколам ВЦ, при дресируванні і різанні проводили візуальний контроль якості поверхні смуг. Дослідження показали, що на рулонах досвідченого режиму і з низьким рівнем намотування метал з першої групи в більш низькі переводили через іржу, неплощинності, неметалічних включень і розкатаного забруднення. При охолодженні стопи по досвідченому режиму, тобто під ковпаком до 570-600 °С з стендової термопарі, на рулонах з низьким рівнем намотування витки зварювалися тільки, якщо був жолоб. Результати дослідження різних варіантів відпалу показали, що у разі низького рівня намотування і досвідченого режиму забезпечується запобігання зварювання витків.

Процес дресирування, як заключна операція обробки поверхні, істотно впливає на утворення злому. Стосовно до дресирувального одноклетьєвого стану 2030 найбільш важливими є зварювання витків, нерівна намотування рулонів, застрягання - при відпалі кромки, биття на розмотувачем внаслідок застрягання внутрішніх витків, схема розмотування, температура дрессіруемого металу.

2.3 Модель експерименту та визначення параметрів процесу

Дослідження процесу змотування розмотування холоднокатаних штаб до і після відпалу та розробка заходів щодо усунення дефекту злому при дресировці

В якості параметра оптимізації був обраний процент відбракування по дефекту злом при сортуванні

Досліджувані чинники, характер їх змін і схеми кодування приведені в

таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Досліджувані фактори

Характеристика	Фактори		
	Товщина штаби мм	Натяг металу Н/мм$_2$	t-ра відпалу С^0
Код	X_1	X_2	X_3
Основний рівень	1,0	80	680
Інтервал варіації	0,5	10	30
Нижній рівень (закодоване значення –1, –)	0,5	70	650
Верхній рівень (закодоване значення +1, +)	1,5	90	710

X_1 - Товщина штаби мм

X_2 - Натяг металу, Н/мм^2

X_3 - Температура відпалу С^0

Y- Процент відбракування по дефекту злома при сортуванні

Складання плану експерименту

Таблиця 2.3 – Матриця повного факторного експерименту від 2^2 до 2^3

Номер досліду	X_0	X_1	X_2	X_3
1	+	+	+	+
2	+	–	+	+
3	+	+	–	+
4	+	–	–	+
5	+	+	+	–
6	+	–	+	–
7	+	+	–	–
8	+	–	–	–

Реалізація плану експерименту

Для визначення помилки експерименту досліди слід дублювати. Частіше дублюють не всі досліди, а тільки досліди на основному рівні. В цьому випадку розрахунок дисперсії досліду *Sy* проводимо по формулі:

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

Для визначення дисперсії досліду було організовано досліди 9-11 на основному рівні. При цьому набуте наступного значення параметра оптимізації:

дослід 9 – 0,075 %; дослід 10 – 0,079 % ; дослід 11 – 0,077 %.

Визначаємо S_y^2. Складаємо розрахункову таблицю 2.4.

Таблиця 2.4 – Розрахункова таблиця дисперсії досліду

Дослід	y_e	$\lvert y_{oe} - y_o \rvert$	Δy_e^2
9	0,094	0,003	0,000009
10	0,1	-0,003	0,000009
11	0,097	0	0
-	y_0 = 0,097	∑=0,003	∑Δ*y*= 0,000018

Тоді:

$$S_y^2 = \sum_{i=1}^{n} \frac{(Yoi - Yo)^2}{f_1} = \frac{0,003^2 + 0,003^2}{3-1} = 0,000009.$$

Побудова математичної моделі

У матриці планування, що реалізовується, отримані наступні результати (табл. 2.5).

Таблиця 2.5 – Результати дослідів

Дослід	1	2	3	4	5	6	7	8
Результат	0,082	0,113	0,09	0,085	0,063	0,074	0,069	0,052

По формулі розраховуємо коефіцієнти регресії шуканих моделей.

$$b_0 = 1/8 \cdot [0{,}082+0{,}113+0{,}09+0{,}085+0{,}063+0{,}074+0{,}069+0{,}052] = 0{,}0785$$

$$b_1 = 1/8 \cdot [0{,}082-0{,}113+0{,}09-0{,}085+0{,}063-0{,}074+0{,}069-0{,}052] = -0{,}0025$$

$$b_2 = 1/8 \cdot [0{,}082+0{,}113-0{,}09-0{,}085+0{,}063+0{,}074-0{,}069-0{,}052] = 0{,}0045$$

$$b_3 = 1/8 \cdot [0{,}082+0{,}113+0{,}09+0{,}085-0{,}063-0{,}074-0{,}069-0{,}052] = 0{,}0014$$

Аналогічно визначаємо інші коефіцієнти: b_1=-0,025; b_2=0,0045; b_3=0,0014.

Таким чином, одержана лінійна модель має заздалегідь наступний вигляд:

$$Y = 0.0785 - 0.0025 \cdot X_1 + 0.0045 \cdot X_2 + 0.0014 \cdot X_3$$

Статистичний аналіз моделі

Розрахуємо довірчий інтервал коефіцієнтів регресії Δb_i. Для цього спочатку визначимо *Sbi.*

$$S_{bi} = \sqrt{\frac{0{,}000009}{8}} = \pm 0{,}00106$$

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

$$\Delta b_i = \pm 4{,}3 \cdot 0{,}00106 = \pm 0{,}004564;$$

Таким чином у всіх випадках, в одержаних рівняннях коефіцієнти виявилися статично значущими, і рівняння набувають остаточно наступного вигляду:

$$Y = 0.0785 - 0.0025 \cdot X_1 + 0.0045 \cdot X_2 + 0.0014 \cdot X_3 .$$

Визначаємо розрахункове значення критерію Фішера порівнюємо з табличним, яке вибирають з таблиці залежно від рівня значущості α і числа мір свободи f_1, f_2.

$$F_{f1,f2}^{расч} = \frac{S_{неад}^2}{S_y^2};$$

$$S^2_{неад} = \frac{0,00065}{8-4} = 0,000163;$$

$$F^{расч}_{f1,f2} = \frac{0,000163}{0,000009} = 18.05.$$

Таблиця 2.6 – Розрахунок дисперсії неадекватності

Дослід	Значення y		$\lvert\Delta y\rvert$	Δy^2
	Експериментальне	Розрахункове		
1	0,082	0,0945	-0,0125	0,000156
2	0,113	0,0995	0,0135	0,000182
3	0,09	0,0855	0,0045	0,0000202
4	0,085	0,0905	-0,0055	0,0000303
5	0,063	0,0665	-0,0035	0,0000123
6	0,074	0,0715	0,0025	0,00000625
7	0,069	0,0575	0,0115	0,000132
8	0,052	0,0625	-0,0105	0,00011

З таблиці [3] для α = 0,05; $f_1 = 2$ і $f_2 = 4$ знаходимо табличне значення критерію Фішера, рівне 19,2. Таким чином, умова адекватності моделі $F^{расч} < F^{табл}$ виконується і нею можна користуватися для розрахунку значень середньої кількості зломів залежно від умов змотування, термообробки та товщини штаби. При цьому слід пам'ятати, що одержана модель описує процес змотування, термообробки та товщини штаби тільки у вивчених межах варіювання факторів.

Інтерпретація результатів

Одержана адекватна модель дозволяє розрахувати значення параметра оптимізації для будь-якої точки вивченого факторного простору.

Крім того, одержану залежність можна представити графічно у вигляді впливу окремих чинників на параметр оптимізації. При цьому звичайно

будують залежність $y = f(x_i)$ за умови, що вся решта чинників фіксує на постійному рівні. Тоді підставляємо в дане рівняння значення чинника X_2 і X_3 в кодованому вигляді (із знаком «–»). Потім в перетворене (спрощене) рівняння підставляємо послідовно значення чинника X_1 на нижньому, основному і верхньому рівнях, тобто –1; 0; +1 і одержуємо шуканий графік.

Представимо графічні залежності межі текучості від поправочних коефіцієнтів, що враховують температуру смуги, ступінь деформації і швидкість деформації:

чинник X_1: для випадку, коли решта $X_j = 0$. Тоді рівняння прийме вигляд:

$$Y = 0.0785 - 0.0025 \cdot X_1$$

Визначимо *y* для випадків, коли X_1 = -1; 0; +1. Підставимо ці значення в рівняння. Набудемо відповідно значення *y*, рівні:

y_1=0,082

y_2=0,0785

y_3=0,076

чинник X_2: для випадку, коли решта $X_j = 0$. Тоді рівняння прийме вигляд:

$$Y = 0.0785 + 0.0045 \cdot X_2$$

Визначимо *y* для випадків, коли X_2 = -1; 0; +1. Підставимо ці значення в рівняння. Набудемо відповідно значення *y*, рівні:

y_1=0,074

y_2=0,0785

y_3=0,083

чинник X_3: для випадку, коли решта $X_j = 0$. Тоді рівняння прийме вигляд:

$$y = 0.0785 + 0.0014 \cdot X_3$$

Визначимо *y* для випадків, коли X_3 = -1; 0; +1. Підставимо ці значення в рівняння. Набудемо відповідно значення *y*, рівні:

y_1=0,0771

y_2=0,0785

y_3=0,0796

Будуємо одержані графічні залежності. (див. мал. 2.1, 2.2, 2.3).

2.4 Експериментальне визначення механічних властивостей дресированих листів

Основні механічні властивості, що характеризують дресирований метал, — межа міцності $\sigma_в$, умовна границя плинності $\sigma_{0,2}$, відносне подовження δ і твердість по Брінелю (НВ). Ці механічні властивості визначають відповідно до ДСТУ 1497-73, що звичайно не викликає ускладнень, хоча при визначенні границі плинності пред'являються підвищені вимоги до точності побудови діаграми розтягнення. Пояснюється це малими величинами обтиснень при дресируванні (не більше 3%) і, отже, малим діапазоном зміни деформацій при побудові діаграми розтягнення. Тому при визначенні умовної границі плинності в розглянутому випадку звичайно не використовують автодіаграми, а будують діаграми розтягнення за результатами вимірів деформацій різними точними тензометрами. Діаграми розтягнення, отримані при випробуванні дресированого металу з низьковуглицевих і легованих сталей, різні.

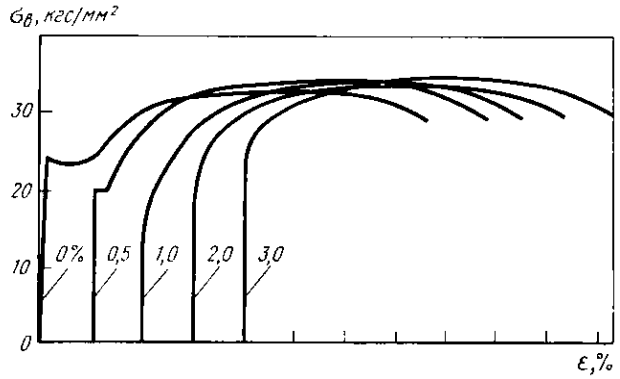


Рисунок 2.4 – Вплив малих обтиснень на криву $\sigma_i = \sigma_i(\varepsilon_i)$ при дресируванні низьковуглецевої листової сталі.

На рис. 2.4 показано, як змінюється вид діаграми розтягнення листової низьковуглецевої сталі, підданій дресируванню з різними обтисненнями. Обертає на себе увагу наступне явище: при дресируванні листового металу з обтисненнями 0,5— 2,0% одночасно з усуненням площадки плинності відбувається деяке зменшення $\sigma_т$. Це явище виявлене експериментально багатьма дослідниками, і для сталей 08кп і 08ю побудовані експериментальні v-образні криві зміни границі плинності від величини обтиснення при дресируванні [14, 15, 12, 13].

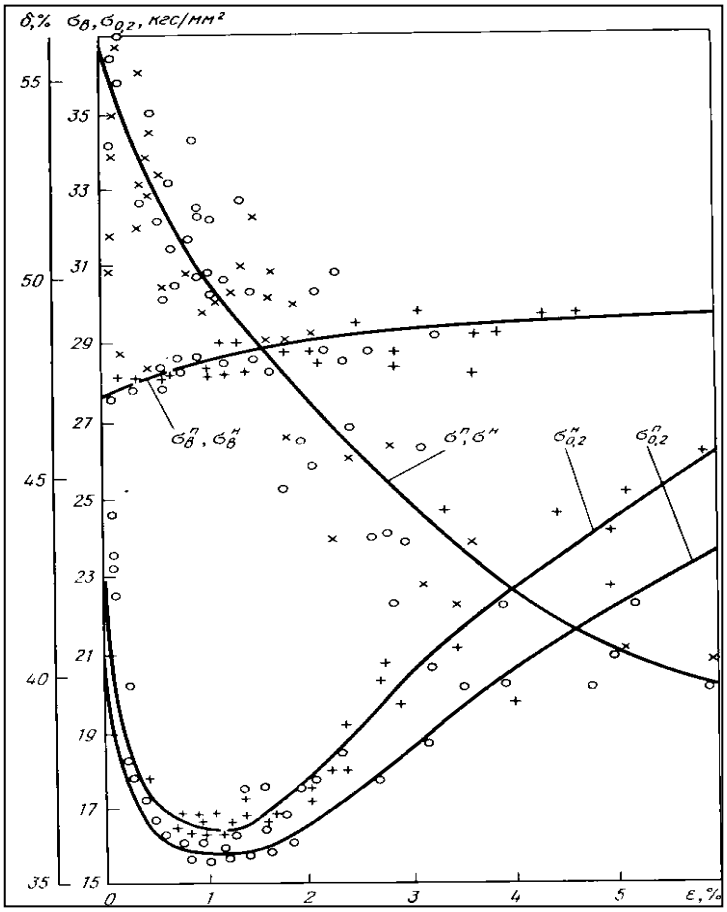


Рисунок 2.5 – Залежність механічних властивостей сталі 08кп від ступеня деформації при дресируванні на полірованої (п) і шерхлих (н) валках діаметром 150 мм (крива $\sigma^{П}$, $\sigma^{Н}$ відповідає δ,%)

Розглянемо особливості зміни механічних властивостей при дресируванні низьковуглецевої сталі марки 08кп, характеризуємі рис. 2.5— 2.10. З наведених даних видно, що міцність і твердість дресированого металу

підвищуються, у той час як відносне подовження зменшується. Що стосується умовної границі плинності, то при ступені деформації до 1-1,2% його величина зменшується, а при подальшому збільшенні ступеня деформації починає зростати. Криві, наведені на рис. 2.5-2.10, отримані авторами при дресируванні штаб різної товщини на валках різного діаметра, поверхня яких була полірованою, шліфованою або шерхлою. Незважаючи на різні умови експериментів, залежність зміни механічних властивостей від ступеня деформації на рис. 2.5-2.10 залишається якісно постійною, трохи змінюючись тільки кількісно.

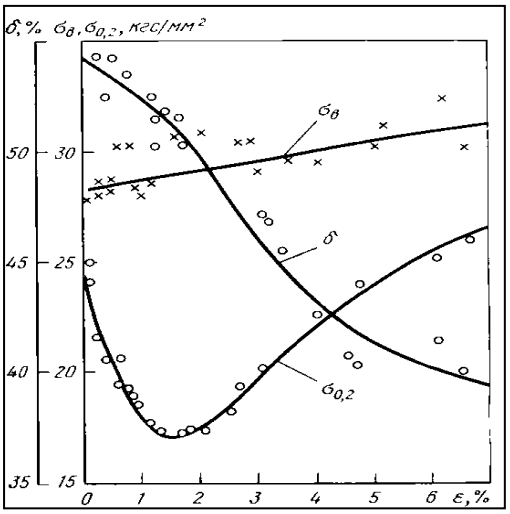


Рисунок 2.6 – Залежність механічних властивостей сталі 08кп від ступеня деформації при дресируванні на шліфованих валках діаметром 450 мм

Розглянемо явище зменшення границі плинності в дресированій листовій сталі в світі отриманих раніше теоретичних даних. У дресированій листовій сталі.

Існують неоднорідні поля залишкових напруг і деформацій, причому в центральних шарах мають місце залишкові напруги розтягнення, а в зовнішніх шарах - стиску.

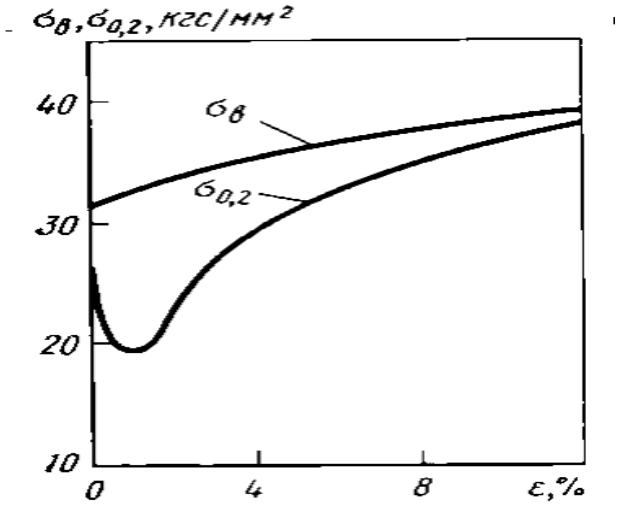


Рисунок 2.7 – Залежність механічних властивостей сталі 08кп (жерсть № 25) від ступеня деформації при дресируванні на валках діаметром 200 мм

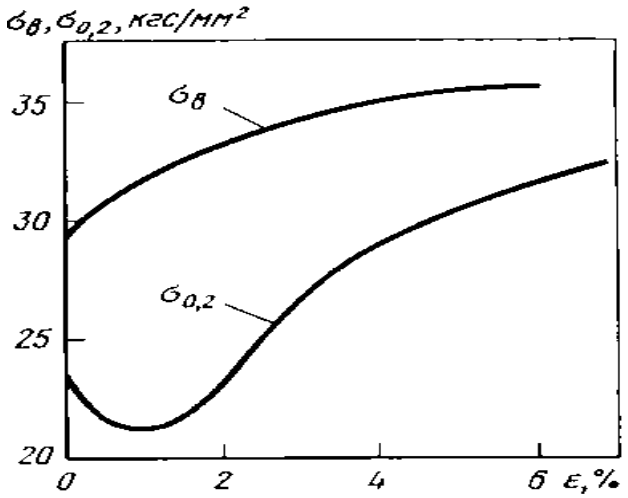


Рисунок 2.8 – Залежність механічних властивостей сталі 08кп від ступеня деформації при дресируванні на валках діаметром 200 мм

При розтяганні в зразку із дресированого листового металу виникає неоднорідне напружено - деформоване становище, при якому центральні розтягнуті шари першими переходять у пластичний стан.

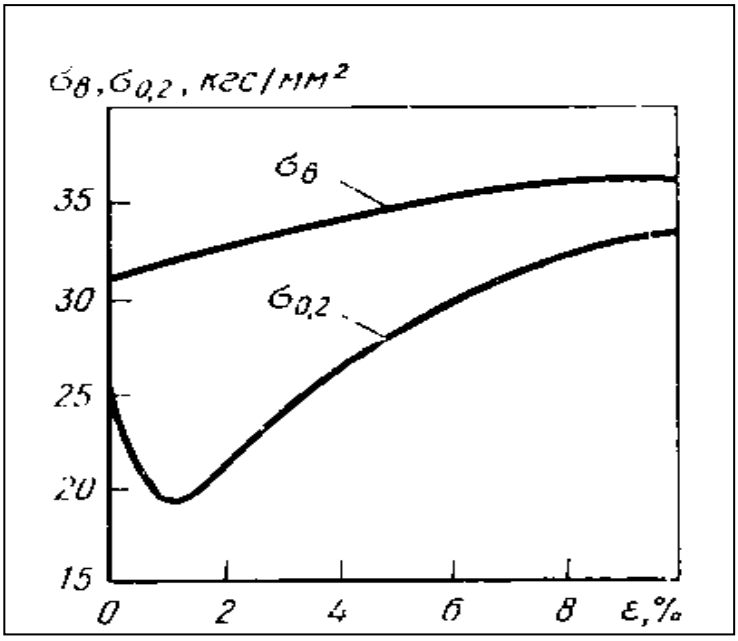


Рисунок 2.9 – Залежність механічних властивостей сталі 08кп (жерсть № 32) від ступеня деформації при дресируванні на валках діаметром 200 мм

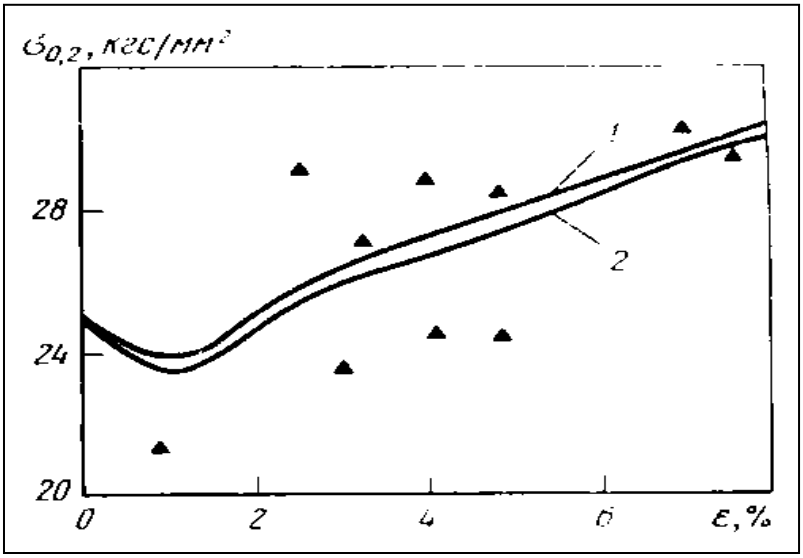


Рисунок 2.10 – Зміна границі текучості $\sigma_{0,2}$ сталі 08кп h_0 = 0,2 мм залежно від ступеня деформації після дресирування на валках діаметром 275 мм. Обробка експериментальних даних: 1- за допомогою ортогональних планів; 2- алгебраїчним методом.

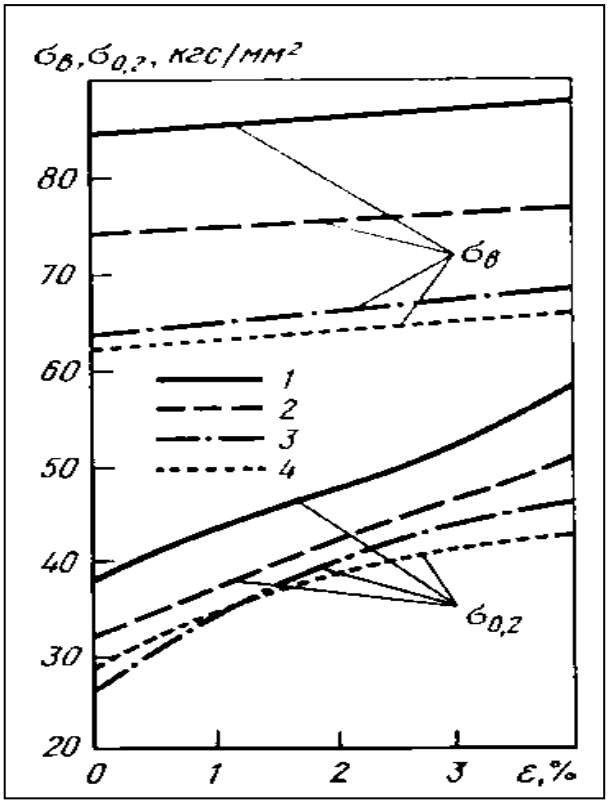


Рисунок 2.11 – Зміна механічних властивостей легованих сталей від ступеня деформації при дресируванні: 1-сталь ХН75МБТЮ (ЭИ602); 2 - сталь ХН78Т (ЭИ435); 3 - сталь 12Х18Н9Т, 4 - сталь 10Х17Н13М2Т

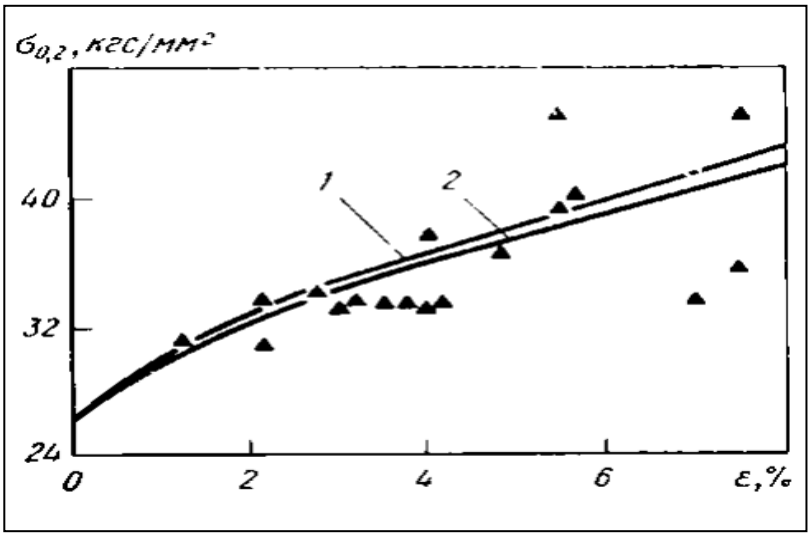


Рисунок 2.12 – Зміна механічних властивостей легованих сталей від ступеня деформації при дресируванні: 1-сталь ХН75МБТЮ (ЭИ602); 2 - сталь ХН78Т (ЭИ435); 3 - сталь 12Х18Н9Т, 4 - сталь 10Х17Н13М2Т

викликаючи зменшення границі плинності всього зразка в цілому. Крім цього явища, на зниження границі плинності дресированого листового

металу, очевидно, впливає і ефект Баушингера, тому що стиск листового металу по товщині при дресируванні переміняється розтягненням зразка в площині листа при побудові залежностей $\sigma_i = f(\varepsilon_i)$. Зазначена точка зору пояснює зниження границі плинності при дресируванні внаслідок впливу, як залишкових макронапруг, так і залишкових мікронапруг, тобто напруг, що діють на окремі зерна металу.

Спостережуване у низьковуглицевих сталей зменшення границі плинності в інтервалі деформацій до 1-2% не виявлено при

Таблиця 2.7 – Константи, що входять у формули (1) и (2)

Марка сталі	$\sigma_{0,2}$, $2_{исх}$, кгс/мм^2	k	p	$\sigma_{в_{исх}}$, кгс/мм^2	k_1	p_1	ε.%	h_0.мм
Маловуглецева сталь								
08кп	25	-5,95	0,522	---	---	---	До0,8	0,2
	21,9	1,77	0,725	---	---	---	0,8-10	0,2
Леговані сталі								
12Х18Н10Т	26,25	4,8	0,825	---	---	---	0-10	0, 2-0,5
12Х18Н9Т	29,6	5,3	0,9	64,9	1,23	1,0	0, 5-5	1-2
ХН75МБТЮ	41,97	5,2	0,79	85,5	4,67	1,0	0, 5-5	1-2
ХН78Т	30,1	5,2	0,86	72,2	0,97	1,0	0, 5-5	1-2
10Х17Н13М2Т	30,7	6,1	0,65	64,5	1,06	1,0	0, 5-5	0, 8-2

дресируванні легованих і высоковуглецевих сталей. У цьому випадку межі міцності і плинності постійно зростають.

Закономірності зміни механічних властивостей металу залежно від ступеня деформації можна виразити функціональною залежністю. Оскільки крива зміни границі плинності у функції ступеня деформації для маловуглецевих сталей має дві ділянки (ділянка зниження границі плинності до мінімуму і ділянка зростання), то для опису зазначених залежностей звичайно приводять дві емпіричні формули.

Для зручності використання в розрахунковій практиці експериментальні криві, наведені на рис. 2.10-2.12, можна апроксимувати, використовуючи відомі рівняння:

$$\sigma_{0.2} = \sigma_{0.2_{\text{и}}} + k\varepsilon^{p} \quad (1)$$

$$\sigma_{\text{в}} = \sigma_{\text{в}_{\text{исх}}} + k_1\varepsilon^{p_1} \quad (2)$$

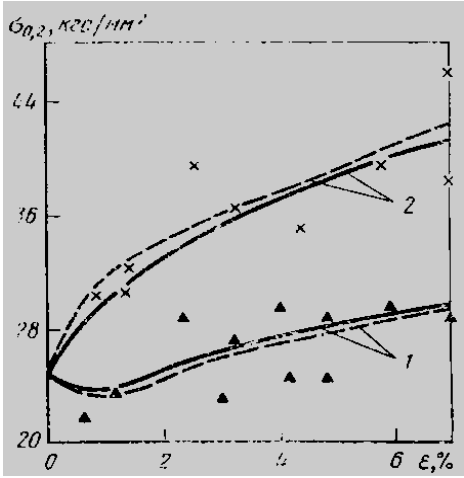


Рисунок 2.13 – Зміна границі текучості $\sigma_{0,2}$ сталі 08кп (h_0 = 0,2 мм) залежно від ступеня деформації при D_n = 275 мм. Обробка експериментальних даних за допомогою ортогональних планів (суцільна лінія) і алгебраїчним методом (штрихова крива): 1 — після дресирування; *2* — після дресирування і додаткової термічної обробки

Значення постійних коефіцієнтів і вихідних величин $\sigma_{0.2_{\text{исх}}}$ і $\sigma_{\text{в}_{\text{исх}}}$ досліджених сталей і сплавів наведені в табл. 2.7.

Результати зіставлення експериментальних і розрахункових величин границі плинності для сталі 08кп у всьому дослідженому діапазоні обтиснень показали, що відносна помилка в середньому дорівнює ±6,7%. Для сталі 12Х18Н10Т помилка менше і становить у середньому ±3,4%. Для сталей 12Х18Н9Т, ХН75МБТЮ, ХН78Т и 10Х17Н13М2Т розкид експериментальних даних був більш значним, тому і відносна помилка при визначенні границі плинності і тимчасового опору з використанням коефіцієнтів, наведених у табл. 2.1, склала в середньому ±10%. Значення

постійних коефіцієнтів k і p, наведені в табл. 2.7, звичайно визначають застосовуючи алгебраїчний метод [16]. Однак аналогічні значення величин k і p можна одержати шляхом використання матриць планування, перевага яких — зниження математичних обчислень і зменшення кількості необхідних експериментальних даних.

Характер зміни механічних властивостей при дресируванні відомий давно, однак довгий час не було досить точного математичного обґрунтування. Отримані із застосуванням методів теорії пружності і пластичності результати щодо розподілу напруг, деформацій і залишкових напруг в пружньопластичних деформованих тонких штабах дозволяють пояснити механізм зміни механічних властивостей дресированого листового металу і також кількісно оцінити ступінь впливу на них параметрів процесу дресирування.

2.5 Вплив параметрів дресирування на механічні властивості

На механізм поширення деформацій і напруг по перетині дресированої штаби впливають діаметр валків, товщина штаби, шерхлість валків, змащування натяг металу і т.д.

Для дресирування характерні більші значення відношення радіуса валків R до товщини h_0 прокатуємої штаби. Так, при дресируванні жерсті відносини R/h_0 більше 1000. Це приводить до того, що відношення довжини контактної області lc до товщини штаби h_0 може становити 30—40 і більше. Обтиснення малі, і кут захвата α звичайно досить малий (α< 20'). Тому для аналізу розподілу напруг і деформацій у дресированому листовому металі приймають допущення про те, що зазначені розподіли аналогічні отриманим при пружньопластичному стиску тонкої штаби між паралельними плитами. Слід зазначити, що кривизна валків впливає на розподіл σ_i, ε_i і залишкових напруг якісно так само, як і контактне тертя. Дійсно, збільшення кривизни валків підвищує нерівномірність деформації дресируємої штаби, по її

перетині, тобто діє так само, як збільшення контактного тертя. Однак значення інтенсивності деформацій ε_{i_0} у центрі штаби залежить тільки від величини обтиснення і не залежить від кривизни валків і контактного тертя. Тому в принципі можна знайти значення контактних дотичних напружень, що відповідає наявної в дресированій смузі нерівномірності розподілу σ_i, ε_i і залишкових напруг. Таким чином, можна враховувати вплив кривизни валків на зазначені розподіли напруг і деформацій значенням коефіцієнта пластичного тертя μ.

Експериментальні результати підтверджують зазначені міркування. Наприклад, дослідження розподілів мікротвердості по поперечному перерізі дресированої штаби показують, що зі зменшенням валків твердість поверхневого шару зростає в порівнянні із твердістю центрального шару. Таким чином, зменшенню діаметра валків у цих експериментах відповідало зміну σ_i аналогічне, відбувається при збільшенні контактного тертя. У зв'язку із цим нерівномірність розподілу деформацій і напруг при дресируванні на валках меншого діаметра зростає, тому границя плинності змінюється інтенсивніше.

Експериментальними дослідженнями залишкових напруг у дресированому листовому металі виявлена також тенденція до їхнього збільшення зі зменшенням діаметра валків. По цій же причині і площадка плинності при старінні з'являється пізніше на листовому металі, підданому дресируванню на валках меншого діаметра .

Необхідно відзначити, що чим товще штаба, тим розходження в нерівномірності розподілу деформацій буде позначатися менше при дресируванні на валках різного діаметра.

Розглядаючи вплив шерхлості валків на діаграму $\sigma_i = f\sigma_i$, варто мати на увазі, що при фіксованій величині обтиснення одночасно зі зменшенням діаметра валків зменшується і довжина контактної області. Це явище при досягненні досить малих відносин l_c/h_0 викликає зменшення контактних сил

тертя і знижує їхній вплив на неоднорідність деформацій листового металу. Відповідно до цього експериментально показане зменшення впливу ступеня шерхлості валків на величину залишкових напруг при зменшенні діаметра валків. При малих обтисненнях, характерних для процесу дресирування, підвищення шерхлості валків може привести до зменшення середньої величини контактних сил тертя через різке зменшення фактичної площі контакту. Це вивчено експериментально в роботах [11, 17]. При дресируванні з обтисненнями менш 1,5-2,0% таке явище зменшує зусилля дресирування і знижує залишкові напруги в листовому металі. Зазначене явище спостерігали експериментально при дресируванні жерсті з обтисненнями порядку 1,0% на валках, підданих дрібоструменевій обробці, що донедавна не мало пояснень.

З метою створення найбільшої неоднорідності розподілу деформацій по перетині дресированого металу і створення в ньому найбільших залишкових напруг необхідно вибирати оптимальний діаметр валків з оптимальною шерхлістю.

Велике практичне значення вивчення залишкових напруг у дресированій листовій сталі пов'язане з тим, що вони істотно впливають на напружений стан заготівлі в процесі штампування і властивості одержаних виробів. Крім цього, залишкові напруги дуже тісно зв'язані зі швидкістю старіння низьковуглецевої листової сталі. Старіння вуглецевої сталі звичайної якості приводить до підвищення міцності, зниженню пластичності, появі площадки плинності [14, 18, 19 і ін.].

На рис. 3.11 наведені криві зміни границі плинності залежно від обтиснення для сталі 08кп після дресирування і після штучного старіння . Поява площадки плинності на діаграмі залежності $\sigma_i = \sigma_i(\varepsilon_i)$ означає, що при штампуванні будуть виникати смуги ковзання на поверхні деталей, що звичайно є непоправним браком.

Як показують експериментальні дослідження, швидкість старіння зменшується при збільшенні ступеня попередньої деформації листа, тобто при зростанні обтиснення [26, 10]. Однак зі збільшенням обтиснення

пластичність сталі зменшується, через що цей регулюючий швидкість старіння фактор виявляється сильно обмеженим.

Іншим фактором, що робить великий вплив на швидкість старіння, є залишкові напруги в листовому металі. Численними експериментальними дослідженнями доведено,що чим більше залишкові напруги в листовому металі, тим більше тривалість його старіння. Час старіння визначається по появі в дресированого листового металу площадки плинності певної довжини. Експериментально показано, що залишкові напруги сповільнюють старіння в сотні і тисячі разів .

Істотний вплив залишкових напруг на швидкість старіння встановив Поляковский, він показав, що якщо перед старінням прокатані, волочені або деформовані скручуванням зразки піддати невеликому розтяганню, то площадка плинності при старінні зразків виявляється значно раніше. Аналогічний результат був отриманий експериментально і при випробуванні зразків із дресированої листової сталі . Наведені результати пояснюються тим, що в результаті розтягнення зразків різко знижуються залишкові напруги в них, а це у свою чергу приводить до сильного зменшення часу старіння. З аналогічної причини час старіння різко зменшується при легкому виправленні дресированого листового металу на ролікоправильній машині, а також при знятті поверхневих шарів у листового металу, що обумовлює значне зменшення залишкових напруг .

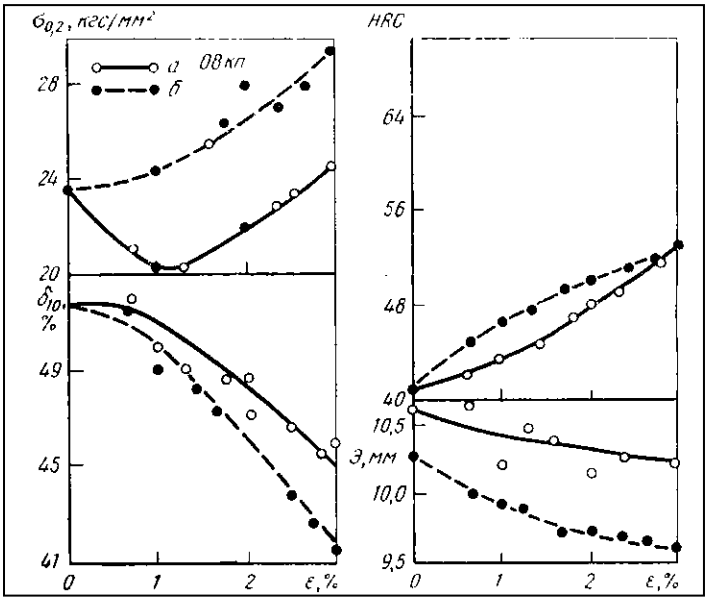


Рисунок 2.14 – Зміна механічних властивостей листа сталі 08кп товщиною 0,8 мм залежно від ступеня деформації при дресируванні і у результаті наступного старіння (Э - глибина лунки по Ериксону) : а - після дресирування; б - після старіння

На практиці дресируванням, виправленням на ролікоправильних машинах або розтягненням листів на розтяжних листоправильних машинах одержують такі пластичні властивості листового металу, які характеризуються кривою розтягнення без площадки плинності. Найбільші по величині залишкові напруги в дресированому листовому металі досягають 90% границі плинності. Як показує рішення завдання про пластичний вигин прямокутної штаби, при однократному вигині листового металу максимальні залишкові напруги не можуть перевищити 0,5 $\sigma_т$. При багаторазових перегинах штаби зі зменшуваною кривизною, що характерно для виправлення листового металу на ролікоправильних машинах, залишкові напруги будуть значно менше.

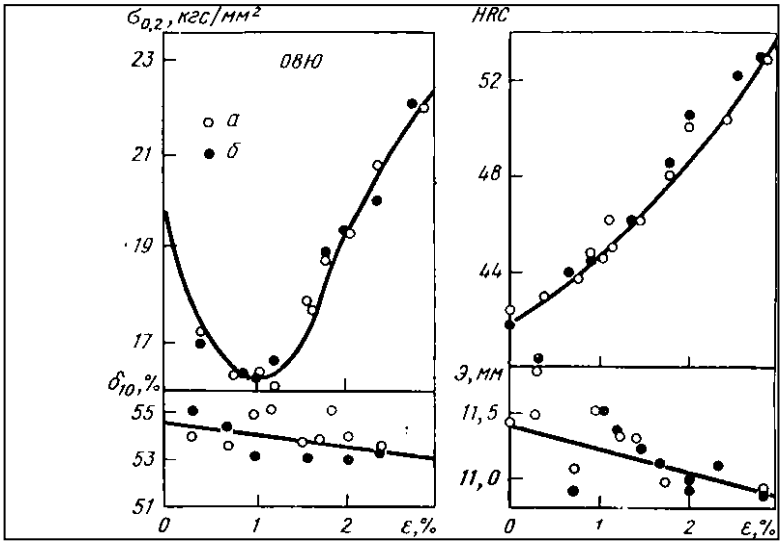


Рисунок 2.15 – Зміна механічних властивостей листа сталі 08Ю товщиною 1,5 мм залежно від ступеня деформації при дресируванні і у результаті наступного старіння (Е - глибина лунки по Ериксону) [14];а - після дресирування; б - після старіння

При одноосьовому розтяганні листів, характерному для розтяжних листоправильних машин, залишкові напруги в листовій сталі взагалі не виникають. Експериментальні дослідження показують, що при однаковій деформації відповідно до величини залишкових напруг площадка плинності при зберіганні листової сталі найбільш швидко виявляється в металі, деформованому на розтяжній правильній машині, пізніше в металі, підданому виправленню на ролікоправильній машині, і в останню чергу в дресированому листовому металі. У цих роботах наведені графіки експериментальних залежностей тривалості старіння від величини залишкових напруг. Великий інтерес для практики представляє питання про час старіння листового металу в різних напрямках. Теоретичні дані свідчать про те, що після дресирування залишкові напруги в напрямку прокатки у два рази більше, ніж у поперечному напрямку. Тому варто очікувати, що при старінні площадка плинності на кривій розтягнення зразків, вирізаних у поперечному напрямку, буде з'являтися раніше, ніж у поздовжніх зразків. Це явище дійсно було виявлено в дресированій сталі багатьма дослідниками [13,

32, 33]. Так, у роботі [23] наведені експериментальні дані для сталі 08кп, дресированої з обтисненням $\Delta h/h_0$= 1,55% і постареною протягом 1,5 мес. при кімнатній температурі. Після старіння виявилося, що у зразків, вирізаних поперек напрямку прокатки, виявлялася площадка плинності довжиною в 2-5 разів більшої, ніж у поздовжніх зразків.

Варто мати на увазі, що на характер старіння зразків у різних напрямках впливає і спрямований характер попередньої деформації, що викликає локальну анізотропію деформуємого середовища. Як показали експериментальні дослідження, більша пластична деформація в одному напрямку супроводжується зміною швидкості старіння металу в різних напрямках. Так, у дослідах, виконаних Типпером, зразки з листового металу піддавали одноосьовому розтяганню з відносними деформаціями ~ 10%, тобто залишкові макронапруги були дорівняні нулю. Було показано, що площадка плинності при старінні в цьому випадку з'являється раніше для напрямку попереднього розтягнення, чим для поперечного напрямку [18]. Зазначений ефект при більших обтисненнях при прокатці може переважати над ефектом впливу різниці залишкових напруг у поздовжньому і поперечному напрямках. Підсумковий результат старіння залежить від спільної дії цих двох різних факторів. Дійсно, у роботі [11] показано, що вже при обтисненнях в 6,25% площадка плинності при старінні починає з'являтися раніше в поздовжніх зразків із прокатаного листового металу, чим у поперечних.

Відсутність впливу старіння на ефект дресирування спостерігається в сталі 08Ю, хімічний склад якої розроблений спеціально з метою усунення впливу старіння.

Висновок:

- в ході роботи були досліджені фактори впливаючи на процент відбракування по дефекту злома при сортуванні. По результатам дослідів були встановлені оптимальні фактори це товщина штаби 0,9 мм, температура відпалу 680 градусів і натяг 75 Н/мм^2 при яких процент злому найменший.
- для виробництва холоднокатаної сталі з високою якістю поверхні і поліпшеною шорсткістю була розроблена нова технологія, яка включила: новий спосіб намотування холоднокатаних рулонів; використання конвекторних кілець нової конструкції при відпалі рулонів в колпакових печах; новий спосіб поверхневої обробки робочих валків 3-й кліті і дресирувального стана.
- для запобігання виникнення дефекту "злом" були вивчені технологічниі фактори від виплавки до дресирування і порізки на холодному переділі. Часто пошкодження поверхні пов'язано зі зварюванням витків рулонів в колпакових печах відпалу.
- в розрахункової частини були досліджені фактори впливаючи на процент відбракування по дефекту "злом" при сортуванні. По результатам дослідів були встановлені оптимальні фактори це товщина штаби 0,9 мм, температура відпалу 680 градусів і натяг 75 Н/мм^2 при яких процент злому найменший.

3 УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ДРЕСИРУВАННЯ

3.1 Удосконалення технології дресирування

Вплив дресирування на властивості холоднокатаного металу

Дресирування - це холодна прокатка з малими обтиском в межах 0,5-3 %. Дресирування забезпечує надання м'якому листовому металу деякої пружності і виключення зламів і перегинів, а також поліпшення якості його поверхні. Поверхня листів після дресирування стає рівною, матовою або глянсовою, що забезпечує гарний зовнішній вигляд покриття при операції забарвлення, лакування і лудіння. Коробчатість і хвилястість холоднокатаного металу зменшується. Застосування малих обтиснень забезпечує зміцнення поверхневого шару металу і зберігає недеформованому внутрішні шари, в результаті чого запобігає утворення ліній зсуву при штампуванні і створюється хороше поєднання механічних властивостей. При дресируванні знижується межа плинності , зменшується відносне подовження, спостерігається невелике зростання твердості і зменшення глибини лунки по Еріксену . Міцність не змінюється.

Визначення величини обтиску при дресируванні

Дану марку сталі будемо піддавати дресируванню з обтисненням 1 % Розраховуємо товщину смуги після дресирування:

$h = h_0 \cdot (1 - \varepsilon)$;

де h_0 - товщина смуги після прокатки;

ε - відносне обтиснення;

$h = 1 \cdot (1 - 0{,}01) = 0{,}99$ мм.

Дане відхилення від заданої товщини не перевищує граничного по ГОСТ 19904-74.

Абсолютна обтиснення при дресируванні одно:

$\Delta h = 1 - 0{,}99 = 0{,}01$ мм.

Розрахунок зусилля дресирування

Розраховуємо довжину осередку деформації:

При розрахунку використовуємо методику академіка Целікова О.І. [7]

$l = \sqrt{R \cdot \Delta h}$;

де R - радіус робочого валка;

Δh - абсолютне обтиснення;

$l = \sqrt{250 \cdot 0{,}01} = 1{,}58$ мм;

Розраховуємо кут захоплення металу валками:

$\alpha = \Delta h / l$;

$\alpha = 0{,}01 / 1{,}58 = 0{,}0063$ рад.

Розраховуємо параметр δ:

$\delta = \frac{2 \cdot f}{\alpha}$;

де $f = 0{,}15$ - коефіцієнт тертя при прокатці в шліфованих валках без змащення;

$\delta = \frac{2 \cdot 0{,}15}{0{,}0063} = 47{,}6$.

Розраховуємо параметр m:

$m = \frac{f \cdot l}{h_{cp}}$;

де h_{cp} - середня товщина штаби при дресируванні;

$m = \frac{0{,}15 \cdot 1{,}58}{0{,}995} = 0{,}238$;

Визначаємо відношення P_{cp} / G_{ϕ} за формулою:

$P_{cp} / G_{\phi} = 1 / m \cdot \left(e^{m} - 1\right)$;

де P_{cp} - середній тиск металу на валки при прокатці;

G_{ϕ} - середнє опір деформації матеріалу штаби;

$P_{ср} / G_{ф} = 1 / 0,238 \cdot \left(e^{0,238} - 1\right) = 1,129$;

Визначаємо відношення $P_{ср} / G_{ф}$ за формулами:

$$\frac{P_{ср}}{G_{ф}} = \frac{2 \cdot (1 - \varepsilon)}{\varepsilon \cdot (\delta - 1)} \cdot \left(\frac{h_{н}}{h_1}\right) \cdot \left[\left(\frac{h_{н}}{h_1}\right)^{\delta} - 1\right];$$

де $$\frac{h_{н}}{h_1} = \left[\frac{1 + \sqrt{1 + \left(\delta^2 - 1\right) \cdot \left(\frac{h_0}{h_1}\right)^{\delta}}}{\delta + 1}\right]^{\frac{1}{\delta}};$$

ε - відносне обтиснення при дресируванні:

$$\frac{P_{ср}}{k} = \frac{2 \cdot (1 - 0,01)}{0,01 \cdot (47,6 - 1)} \cdot 1,0048 \cdot \left[1,0048^{47,6} - 1\right] = 1,092;$$

$$\frac{h_{н}}{h_1} = \left[\frac{1 + \sqrt{1 + \left(47,6^2 - 1\right) \cdot 1,01^{47,6}}}{47,6 + 1}\right]^{\frac{1}{47,6}} = 1,0048.$$

Визначаємо відношення $P_{ср} / G_{ф}$ за формулою:

$$\frac{P_{ср}}{G_{ф}} = \frac{2}{\varepsilon \cdot \delta} \cdot \left[\left(\frac{1}{1 - \varepsilon}\right)^{\frac{\delta - 1}{2}} - \left(1 - \frac{\varepsilon}{2}\right)\right];$$

$$\frac{P_{ср}}{G_{ф}} = \frac{2}{0,01 \cdot 47,6} \cdot \left[\left(\frac{1}{1 - 0,01}\right)^{\frac{47,6 - 1}{2}} - \left(1 - \frac{0,01}{2}\right)\right] = 1,129.$$

З розрахунків видно, що результати відрізняються незначно. Приймаємо $P_{ср} / G_{ф} = 1,129$.

Визначаємо межа плинності даної марки сталі з урахуванням наклепу в процесі дресирування:

$\sigma_{m} = \sigma_{m0} + 4,4 \cdot \varepsilon^{0,59}$;

де σ_{m0} - межа плинності даної стали перед прокаткою;

ε - відносне обтиснення при дресируванні;

$\sigma_{m} = 350 + 4,4 \cdot 0,01^{0,59} = 350,3$ Н/мм^2.

Визначаємо середнє опір деформації матеріалу:

$$G_{фср} = \frac{\sigma_{m0} + \sigma_{m1}}{2} \cdot 1{,}15;$$

де σ_{m0} - межа текучості матеріалу до виходу у вогнище деформації;

σ_{m1} - межа плинності матеріалу після виходу з осередку деформації;

$$G_{фср} = \frac{350 + 350{,}3}{2} \cdot 1{,}15 = 402{,}67 \text{ Н/мм}^2$$

Визначаємо середній тиск металу на валки:

$P_{ср} = 1{,}129 \cdot 402{,}67 = 454{,}6$ Н/мм^2.

Визначаємо середній тиск металу на валки з урахуванням натягу смуги згідно за формулою:

$$P_{ср}^{н} = P_{ср} \cdot n_{\sigma};$$

де n_{σ} - коефіцієнт зменшення тиску металу на валки при натягу штаби;

$$n_{\sigma} = 1 - \frac{\sigma_{н}}{k_{ср}};$$

Приймаємо $\sigma_{н} = 0{,}4 \cdot \sigma_{m}$:

$$n_{\sigma} = 1 - \frac{0{,}4 \cdot 350}{402{,}67} = 0{,}652;$$

$P_{ср}^{н} = 454{,}6 \cdot 0{,}652 = 296{,}39$ Н/мм^2.

Визначаємо повний зусилля прокатки (дресирування):

$$p = P_{ср}^{н} \cdot l \cdot b;$$

де l - довжина осередку деформації;

b - ширина смуги;

$P = 296{,}39 \cdot 1{,}58 \cdot 1250 = 585{,}37$ кН.

3.2 Розрахунок зусилля дресирування з урахуванням пружного сплющення валків

Відповідно визначаємо коефіцієнт b_c:

$$b_c = C \cdot (k_{cp} - \sigma_н) \cdot \frac{D \cdot \mu}{h_{cp}};$$

де $C = 1{,}08 \cdot 10^{-5}$ мм/н – коефіцієнт пружності для сталевих валків;

$\sigma_н$ - натяг смуги при дресируванні;

k_{cp} - середнє опір деформації матеріалу смуги;

D - діаметр робочих валків;

f - коефіцієнт тертя при дресируванні;

h_{cp} - середня товщина смуги при дресируванні;

$$b_c = 1{,}08 \cdot 10^{-5} \cdot (402{,}67 - 140) \cdot \frac{500 \cdot 0{,}15}{0{,}995} = 0{,}213;$$

Визначаємо параметр m_c за формулою:

$$b_c = \frac{m_c^2 - m^2}{e^{m_c} - 1};$$

Методом підбору знаходимо: $m_c = 0{,}403$;

Знаходимо довжину осередку деформації з урахуванням пружного сплющення валків:

$$l_c = \frac{m_c \cdot h_{cp}}{\mu};$$

$$l_c = \frac{0{,}403 \cdot 0{,}995}{0{,}15} = 2{,}67 \text{ мм.}$$

Визначаємо відношення $P_{cp} / G_ф$ за формулою :

$$\frac{P_{cp}}{k} = \frac{1}{0{,}403} \cdot \left(e^{0{,}403} - 1\right) = 1{,}231.$$

Визначаємо кут захоплення металу з урахуванням пружного сплющення валків:

$$\alpha_c = \Delta h / l_c;$$

$$\alpha_c = 0{,}01 / 2{,}67 = 0{,}0037 \text{ рад.}$$

Визначаємо параметр δ при пружному сплющуванні валків:

$$\delta_c = \frac{2 \cdot \mu}{\alpha_c};$$

$$\delta_c = \frac{2 \cdot 0{,}15}{0{,}0037} = 81{,}08.$$

Визначаємо відношення $P_{ср} / k$ за формулами :

$$\frac{P_{ср}}{G_ф} = \frac{2 \cdot (1 - 0{,}01)}{0{,}01 \cdot (81{,}08 - 1)} \cdot 1{,}004 \cdot \left[1{,}004^{81{,}08} - 1\right] = 0{,}948;$$

$$\frac{h_н}{h_1} = \left[\frac{1 + \sqrt{1 + \left(81{,}08^2 - 1\right) \cdot 1{,}01^{81{,}08}}}{81{,}08 + 1}\right]^{\frac{1}{81{,}08}} = 1{,}004.$$

Визначаємо відношення $P_{ср} / k$ за формулами:

$$\frac{P_{ср}}{G_ф} = \frac{2}{0{,}01 \cdot 81{,}08} \cdot \left[\left(\frac{1}{1 - 0{,}01}\right)^{\frac{81{,}08-1}{2}} - \left(1 - \frac{0{,}01}{2}\right)\right] = 1{,}234.$$

Таким чином приймаємо $P_{ср} / k = 1{,}23$.

Знаходимо середній тиск металу на валки з урахуванням пружного сплющення валків:

$P_{ср_c} = 1{,}23 \cdot 402{,}67 = 495{,}28$ Н/мм^2.

Врахуємо вплив натягу на середній тиск металу на валки:

$P^н_{ср_c} = P_{ср_c} \cdot n_\sigma;$

де n_σ - коефіцієнт зменшення тиску металу на валки при натягу смуги;

$P^н_{ср_c} = 495{,}28 \cdot 0{,}652 = 322{,}9$ Н/мм^2.

Розраховуємо повне зусилля дресирування з урахуванням пружного сплющення валків:

$P = P^н_{ср_c} \cdot l_c \cdot b;$

$P = 322{,}9 \cdot 2{,}67 \cdot 1250 = 1{,}077$ МН.

Визначення крутного моменту на валках

Визначаємо коефіцієнт плеча докладання рівнодіюча тиску металу на валки з урахуванням пружного сплющення валків за формулою:

$$\Psi = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{1 - \frac{\varepsilon}{2}} \cdot \left(1 - \varepsilon \cdot \frac{1 + m_c}{2 + m_c}\right);$$

де ε - відносний обтиснення за прохід;

$$\Psi = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{1 - \frac{0{,}01}{2}} \cdot \left(1 - 0{,}01 \cdot \frac{1 + 0{,}403}{2 + 0{,}403}\right) = 0{,}496;$$

Визначаємо плече прикладання сили P с з урахуванням пружного сплющення валків:

$a = \psi \cdot l_c$;

$a = 0{,}496 \cdot 2{,}67 = 1{,}32$ мм.

Визначаємо моменти прокатки валки з урахуванням пружного сплющення валків за формулою:

$M_{пр} = 2 \cdot p \cdot a$;

де p - зусилля дресирування з урахуванням пружного сплющення валків;

$M_{пр} = 2 \cdot 1{,}077 \cdot 1{,}32 = 2{,}84$ кНм.

Визначаємо момент тертя:

$$M_{тр} = p \cdot \mu_n \cdot d_n \cdot \left(\frac{D_p}{D_{оп}}\right);$$

де p - повне зусилля дресирування з урахуванням пружного сплющення валків;

$\mu_n = 0{,}003$ - коефіцієнт тертя в підшипниках опорних валків;

d_n - діаметр тертя;

D_p - діаметр робочого валка;

$D_{оп}$ - діаметр опорного валка;

$$M_{тр} = 1{,}077 \cdot 0{,}003 \cdot 0{,}9 \cdot \left(\frac{500}{1300}\right) = 1{,}11$$ кНм.

Визначаємо сумарний крутний момент на валках: $M_{\Sigma} = 3{,}95$ кНм.

Визначаємо необхідну розрахункову потужність

$$N = M_{\Sigma} \cdot \omega$$

$$\omega = M_{\Sigma} \cdot \left(\frac{V}{R} \right)$$

де V - максимальна швидкість дресирування

R - радіус волків

ω - кутова швидкість

$$\omega = M_{\Sigma} \cdot \left(\frac{V}{R} \right) = 3.95 \cdot \left(\frac{20}{0.5} \right) = 158$$

$$N = M_{\Sigma} \cdot \omega = 3.95 \cdot 158 = 624.1 \text{кВт}$$

Згідно ТИ 226-П.ХЛ1-20-05

Таблиця 3.1 – Характеристика дресирувальних станів

Характеристика	Стан №1	Стан №2
Мощность електродвигуна, кВт	2 х 660	1250
Число обертів за хвилину, об/хв	450-1200	400-820
Допускаемое тиск металу на валки, Мн	5	7,5
Максимальная швидкість, м/с	20	20

Таблиця 3.2 – Параметри процесу дресирування

Параметр	$P_{ср} / G_{ф}$	$P_{ср}$, Н/мм^2	Р,Мн
l д	1,129	495,28	1,077
l с	1,231	456,6	0,585

Досліджені фактори впливаючи на відсоток відбракування по дефекту "злам" при сортуванні. По результатам дослідів були встановлені оптимальні фактори - це товщина штаби 0,9 мм, температура відпалу 680 градусів і натяг 750 Н/мм^2 при яких процент злому найменший.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА

4.1 Аналіз потенційно небезпечних та шкідливих факторів виробничого середовища цеха холодної прокатки тонкого листа

К основним небезпечним та шкідливим факторам в цеху холодної прокатки тонкого листа відносяться:

- шкідливі хімічні речовини такі як: ангідрид хромовий, оксид марганцю, акролеїн, сірководень, оксид вуглецю і мінеральні масла, які протягом 85% робочого часу впливають на організм людини;

- пил, який виділяється при прокатці метала. Пил є основним шкідливим фактором, який протягом 90% робочого часу впливають на слизову оболонку органі дихання, що приводить до захворювань.

Оцінка факторів виробничого середовища приведена в таблиці 4.1.

З таблиці 4.1 видно, що робота операторів та вальцювальників належить до робіт із 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 працюючим на особливо шкідливих роботах з перебуванням у ненормальній температурі окружного середовища.

4.2 Розробка заходів захисту від впливу небезпечних та шкідливих факторів

Перелік технічних та санітарно – гігієнічних мір захисту виробничої сфери наведені в таблиці 4.2.

Таблиця 4.1 – Оцінка факторів виробничого процесу вальцювальника.

№ пуп	Фактори виробничого середовища і трудового процесу.	Норм. Знач. (ГДК, ГДУ)	Фактичні значення	III клас шкідливих і опарних умов і характер праці.			Час дії фактора за зміну,%.
				I	II	III	
1	Шкідливі хімічні речовини, мг/м^3:						
	I клас небезпеки						
	Ангідрид хромовий	0,02	0,07			7,0 р	90
	Оксид марганцю	0,04	0,39			7,8 р	90
	II клас небезпеки						
	Акролеїн	0,2	0,68		3,3 р		90
	III-IV клас небезпеки						
	Ангідрид сірчистий	10	16,89	1,63 р			90
	Оксид вуглецю	20	25	1,25 р			90
	Масла мінеральні	5	6,78	1,36 р			90
2	Пил фіброгенної дії, мг/м^3.	4,0	8,5		2,13 р		90
3	Шум,дБА	80	105			25	100
4	Мікроклімат в						
5	приміщенні:						
	- температура повітря, °С.	16-27	35		8		90
	- швидкість руху повітря,м/с	0,2-0,5	0,24			6,2	90
	- відносна вологість повітря,%	40-55	40				90
	- інфрачервоне випромінювання,Вт/м^2	140	956		956		
6	- Атмосферний тиск мм.рт.ст	760	742				
7	Тяжкість та напруження труда		Дуже напруж.		Тяжкі.		

Все устаткування , а також сам процес прокатки генерує шум і вібрації.

Надмірний шум робить шкідливий вплив на працюючий персонал, сприяє виникненню травматизму і знижує продуктивність праці.

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 та перегородки	Звукопоглинання та відбиття, ізоляція органів слуху	Біля джерел шуму, у приміщенні оператора
Паровиділення	Витяжна вентиляція	Примусовий механічний отос пару	Над станом
Небезпечний рівень струму	Ізоляція і огородження струмоведучих частин; заземлення і 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 обертаються.	На панелях пульта керування
Метал що переміщається	Огородження і розмітка небезпечної зони. Знаки безпеки	Захист від травм під час руху та переміщення металу	На території небезпечної зони

Робота в умовах підвищеного шуму протягом всього дня викликає стомлення слухових органів. Тривала дія шуму, що перевищує допустимі норми, наводить до втрати слуху. Шум високих тонів негативно впливає на органи, керуючих рівновагою людини в просторі.

При роботі виникають низькочастотний шум, спектр якого перевищує межі допустимого рівня. Рівень шуму на стані складає 105 дБА, що значно перевищує межі допустимого 80 дБА.

Заходи щодо захисту від шуму зводяться до наступних мір:

а) вживанню звукоізолюючих кожухів для закривання особливо галасливого устаткування або ізоляції устаткування від виробничих приміщень;

б) вживанню глушників шуму при випуску відпрацьованих газів, пари, повітря.

в) вживанню звукоізолюючих і звукопоглинальних матеріалів (бетонна стіна поглинає лише 0,5 % шуму, цегельна - 3,2 %, а стіна обшита повстю завтовшки 50 мм 70 %);

г) використання засобів індивідуального захисту від шуму (біруши, навушники).

4.3 Технічні рішення з виробничої 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 залежить від потужності технологічного процесу, характеру і кількості виділюваних у навколишнє середовище шкідливих речовин, видаваних шумів і інших шкідливих факторів. Передбачає міри, що зменшують їхні несприятливі впливи на навколишнє середовище і які забезпечують дотримання вимог відносно шкідливих речовин в атмосферному повітрі населених пунктів, і робочій зоні приміщень.

4.3.1 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 вздовж прольоту.

Для огородження приливу холодного повітря під час в’їзду і виїзду транспорту над воротами встановлені завіси для створення теплого повітря. Всі обігрівальні установки забезпечують температуру повітря в приміщенні в межах 16 – 20 °С.

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

I ряд – на рівні 1,5 м від підлоги;

II ряд – на рівні 4,5 м від підлоги;

III ряд – на рівні 8,5 м від підлоги.

Для видалення зайвого тепла і вентиляції, у прольоті стана передбачені витяжні ліхтарі. В літню пору для природної вентиляції використовуються також відкриті ворота, але оскільки джерел тепла багато (нагрівальна піч, нагрітий метал і т.д.), та передбачена система приточеної вентиляції.

Схема аерації цеху холодної прокатки тонкого листа приведена на рис. 4.1.

4.3.2 Освітлення в цеху

В прокатному цеху застосовується природне і штучне освітлення. Природне освітлення забезпечується одночасно через світлові прорізи в бокових стінах і ліхтарі.

Згідно ДБН-2006 (Державні Будівельні Норми) роботи, виконувані персоналом при прокатці штаб, ставляться до 8 розряду зорових робіт. У приміщеннях цеху для освітлення застосовують, як правило, газорозрядні лампи. Типи світильників вибирають залежно від умов їхньої роботи і вимог до якості освітлення. Для загального освітлення застосовують світильники «Альфа». У місцях підвищеної небезпеки де освітленість при системі загального освітлення становить 150 лк і менше, норму освітленості збільшують на 1 розряд.

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

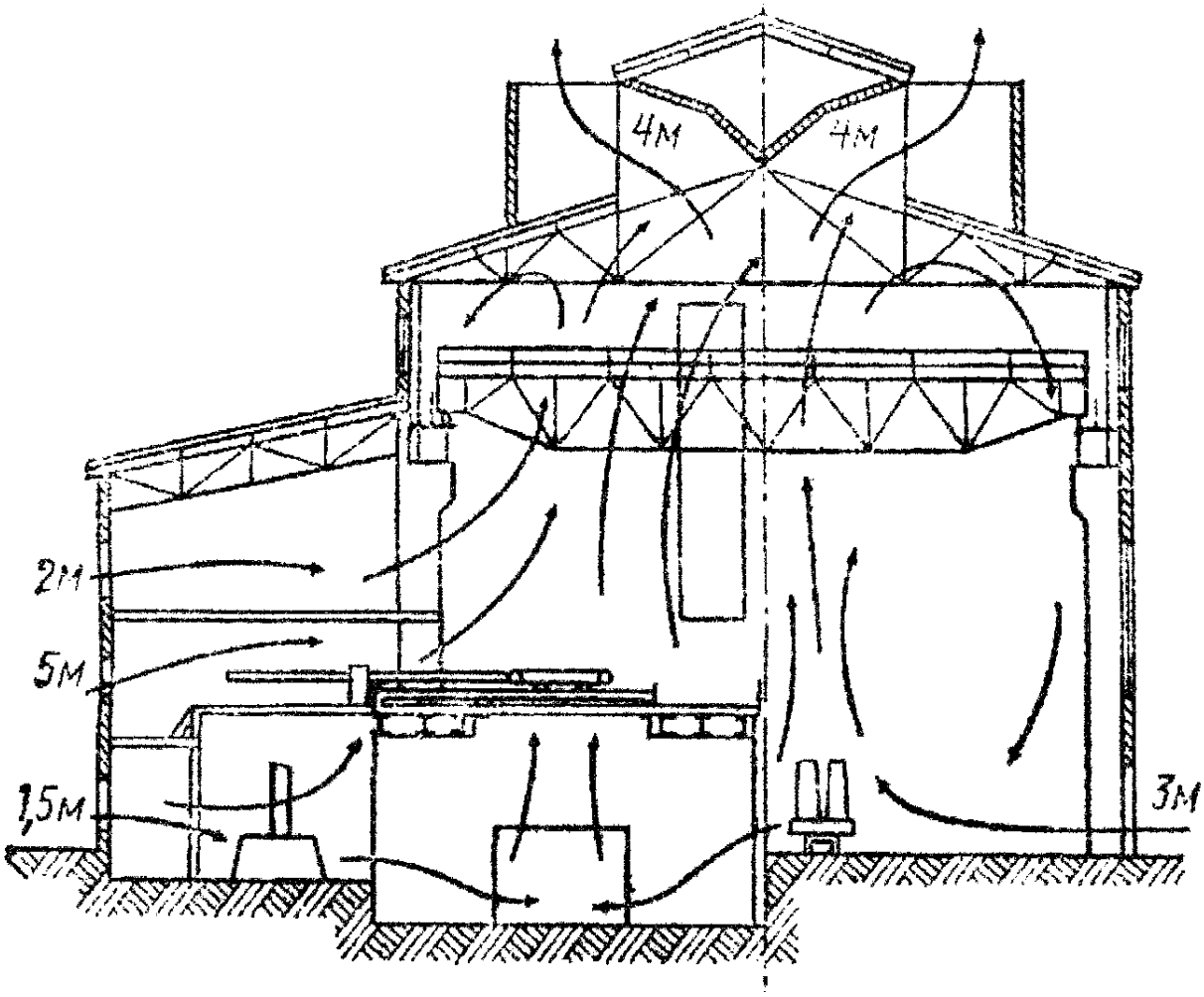


Рисунок 4.1 – Схема аерації цеху холодної прокатки тонкого листа

Найменше освітлення робочих поверхонь потребують обслуговування при аварійних режимах становить 5% освітленості, нормованої для загального робочого освітлення, але не менш 2 лк.

Аварійне освітлення для евакуації персоналу, проходів і сходів не менш 0,5 лк.

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

4.4 Електробезпека

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

Вплив електричного струму на організм людини може викликати небезпечні для здоров’я наслідки і навіть привести до смерті. Небезпека збільшується тим що наявність електричної напруги не може бути безпечно виявлена за допомогою наших органів. Ймовірність смертельного результату при поразках електричним струмом велика. Великий вплив робить зовнішнє середовище.

Становий проліт відповідно до вимог ПУЕ Сніп – 11 – 33 – 76 відноситься до зони класу В – 16 – це зона, розташована в приміщеннях, у яких при нормальній експлуатації вибухонебезпечні суміші горючих газів або пар ЛВР із повітрям не утворюються а можливі тільки в результаті аварій або неполадок.

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

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

Одна з основних причин поразки електричним струмом є пробій ізоляції.

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

Міри захисту від поразки електричним струмом.

У цехах використовують наступні міри захисту від поразки електричним струмом:

а) захист від дотику до струмоведучих частин;

б) захист від дотику до устаткування які випадково опинились 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 простим і дуже простим ефективним заходом захисту є заземлення. Захисні функції заземлюючого пристрою складаються в зниженні до безпечної величини напруги щодо землі на металевих частинах які опинились випадково під напругою що дозволяє усунути небезпеку поразки дотику до них людини.

Приєднання корпусів і інших конструктивних металевих частин електроустаткування до заземлюючого нульового дроту називається захисним зануленням. Ціль захисного занулення перетворити пробій на

корпус у коротке замикання між фазним і нульовим дротом викликати тим самим протікання великого струму через захист і швидко відключити ушкоджене устаткування від мережі.

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

При обслуговуванні електроустановок застосовують основні і допоміжні захисні засоби. До основних становиться захисні засоби, ізоляція яка надійно витримує робочу обстановку напруги і при користуванні якої допускається безпосередній дотик до струмоведучих частин, що перебуває під напругою. До додаткових відносяться засоби захисту, що підсилюють дію основних засобів і які забезпечують безпеку при напрузі дотику і кроковій напрузі.

До засобів індивідуального захисту відносяться ізолююча штанга, ізолюючі кліщі, діелектричні боти, діелектричні рукавиці і ізолюючі підставки та ін.

По технологічних вимогах і за умовами безпеки самою оптимальною є чотирьохпровідна мережа із глухозаземленою нейтраллю, тому що вона дозволяє використати дві робочі напруги – лінійну і фазну.

Від чотирьох провідної мережі 380В можна живити як силове навантаження – трьохфазне або однофазну включаючи її між фазним і нульовим дротами тобто на фазну напругу 220 В. При цьому досягається значне здешевлення електроустановки в цілому завдяки застосуванню меншого числа трансформаторів і меншого перетину дротів.

4.5 Розрахунок штучного освітлення освітлення

Розрахуємо штучне загальне освітлення для відділення стана холодної прокатки по методу коефіцієнта використання світлового потоку.

$$N=ESKZ/F\eta \qquad (4.1)$$

де E = 200 лк - нормована освітленість;

S = 9912 м^2 - площа відділення нагрівальних колодязів;

K = 1,5 - коефіцієнт запасу для люмінесцентних ламп;

Z= 1,2 - коефіцієнт переходу мінімальної освітленості до середньої;

F = 17000 лм - необхідний світловий потік;

η = 0,62;

N = 200x9912x1,5x1,2/17000x0,62 = 339 ламп.

Для загального штучного освітлення застосовуємо люмінесцентні лампи зі світильниками прямого світла типа «Універсал».

4.6 Заходи щодо пожежної та техногенної безпеки

Приміщення цеху по ОНТП – 24 – 86 відносяться до категорії «Г» до 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, змазуючих і гідравлічних рідин, які можуть при більших температурах запалитися. 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 двірних прорізів, що забезпечують достатню пропускну здатність, необхідне 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 негорючого матеріалу для забезпечення 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.

В прокатному цеху в цей час застосовуються пінні вогнегасники типу ВХП – 10; ВВП – 5; ВВП – 10 у кількості 10 штук, які розташовані на протипожежних стендах.

ВИСНОВКИ

Проаналізований стан якості холоднокатаних штаб на стані холодної прокатки 1700. Встановлено, що використовуваний для прокатки підкат має різні дефекти механічних властивостей.

Встановлені залежності $\sigma_т = f(\varepsilon)$, $\sigma_в = f(\varepsilon)$, $\delta_{10} = f(\varepsilon)$, HRB= $f(\varepsilon)$, $\sigma_т/\sigma_в = f(\varepsilon)$. Маючи комплекс цих залежностей визначили оптимальну степінь деформації, яка забезпечує високу пластичність, і достатню міцність холоднокатаних листів в процесі їх послідуючої холодної штамповки.

Досліджені фактори впливаючи на відсоток відбракування по дефекту "злам" при сортуванні. За результатами дослідів встановлені оптимальні фактори - це товщина штаби 0,9 мм, температура відпалу 680 °С і натяг 75 Н/мм^2 при яких процент злому найменший.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Середа Б.П. Обробка металів тиском : навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл. Запоріжжя : ЗДІА, 2005. 250 с.

2. Середа Б.П. Прокатне виробництво : навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл. Запоріжжя: ЗДІА, 2008. 312 с.

3. Жук А. Я., Малышев Г. П., Желябина Н. К., Клевцов О. М. Техническая диагностика. Контроль и прогнозирование : монография. Запорожье : ЗГИА, 2008. 224 с.

4. Василев Я. Д., Мінаєв О. А. Теорія поздовжньої прокатки : підручник. Донецьк : УНІТЕХ, 2009. 488 с.

5. Середа Б.П. Термічна обробка металів : навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл. Запоріжжя : ЗДІА, 2003. 270 с.

6. Середа Б.П. Теорія будови рідкого, кристалічного та аморфного стану речовини : навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл. Запоріжжя : ЗДІА, 2008. 238 с.

7. Середа Б.П. Металознавство і термічна обробка чорних і кольорових металів : навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл. Запоріжжя : ЗДІА, 2008. 302 с.

8. 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.

9. Середа Б.П., Кругляк І.В., Бєлоконь Ю.О., Жеребцов О.А. Розробка номограм оптимізації діаметрів валків на багатовалкових станах холодної прокатки. *Обработка металлов давлением*. 2008. № 1 (19). С. 352.

10. 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.

11. Бєлоконь Ю.О. Фізичні процеси при пластичній деформації : навч. посіб. Запоріжжя : ЗНУ, 2023. 179 с.

12. Ніколаєв В.О., Мазур В. Л. Виробництво плоского прокату : підручник для ВНЗ. Запоріжжя : ЗДІА, 2010. 319 с. : іл.

13. Ніколаєв В.О. Обтискне та сортове виробництво прокату : навч. посібник. Запоріжжя : ЗДІА, 2015. 129 с.

14. Середа Б.П., Прищип М. Г. Теорія процесів прокатного та трубного виробництва : метод. вказівки до лабораторного практикуму : для студ. ЗДІА спец. ОМТ ден. та заоч. форм навчання. Запоріжжя : ЗДІА, 2004. 42 с.

15. Ніколаєв В. О. Теорія обробки металів тиском : навч. посібник. Запоріжжя : ЗДІА, 2015. 112 с.

16. Середа Б. П., Бєлоконь Ю. О., Оніщенко А. М. Теорія обробки металів тиском : навч.-метод. посібник. Запоріжжя : ЗДІА, 2012. 129 с.

17. Сологуб М.А. Технологія конструкційних матеріалів : підручник. Київ : Вища школа, 2002. 374 с.

18. Пахаренко В. Л. Матеріалознавство та технологія конструкційних матеріалів (обробка металів різанням, тиском та зварювання). Лабораторний практикум : навч. посіб. / В. Л. Пахаренко, М. М. Марчук, П. І. Івасюк ; НУВГП. Рівне : НУВГП, 2013. 126 с.

19. Обробка металів тиском при нестаціонарних температурних умовах : монографія / Б.П.Середа, І.В.Кругляк, О.А.Жеребцов, Ю.О.Бєлоконь. Запоріжжя : ЗДІА, 2009. 252 с. ISBN 978-966-8462-15-3.

20. Федьков В.Г. Механічне обладнання металургійних заводів : навч.-метод. посібник. Запоріжжя : ЗДІА, 2006. 91 с.

21. Середа Б. П., Кругляк І. В., Бєлоконь Ю.О. Конструкції агрегатів цехів обробки металів тиском : навч.-метод. посібник. Запоріжжя : ЗДІА, 2012. 166 с.

22. Польський О., Бєлоконь Ю.О. Автоматизоване проектування режиму деформації штаб на станах холодної прокатки. *Молода наука – 2020 : збірник наукових праць XIII університетської науково-практичної*

конференції студентів, аспірантів, докторантів і молодих вчених. (Запоріжжя, 13-15 квітня 2020 р.). Запоріжжя: ЗНУ, 2020. Т. 5. С. 124-125.

23. Явтушенко О.В., Проценко В.М., Бондаренко Ю.В. Розрахунок нормальних контактних напружень в осередку деформації під час прокатування штаб. *Металургія : зб. наук. праць.* 2019. № 1. С. 85-92.

24. Yavtushenko A.V., Protsenko V.M., Bondarenko Y.V., Kirichenko A.G., Ping. Y. Numerical experiment for the calculation of normal contact stress in the deformation center when rolling a metal strip. *Journal of Engineering Sciences*. 2019. Т. 6. № 2. С. 31-35.

25. Кокорін Я., Бондаренко Ю.В. Підвищення показників якості прокату при виробництві жерсті. *Молода наука – 2020 : збірник наукових праць XIII університетської науково-практичної конференції студентів, аспірантів, докторантів і молодих вчених.* (Запоріжжя, 13-15 квітня 2020 р.). Запоріжжя: ЗНУ, 2020. Т. 5. С.113.

26. Кругляк Д. О., Поляков А. Ю. Вдосконалення режиму холодної прокатки низьковуглецевих сталей. *І Всеукраїнська науково-практична конференція здобувачів вищої освіти, аспірантів та молодих вчених «Актуальні питання сталого науково-технічного та соціально-економічного розвитку регіонів України»*. Запоріжжя: ЗНУ, 2021. С. 231-233.

27. Вербицький М.В., Бондаренко Ю.В. Оцінка ступеню використання ресурсу пластичності за холодної прокатки штаб. *Матеріали XXII науково-технічної конференції студентів, магістрантів, аспірантів і викладачів ЗДІА*, 2017, ЗДІА, Т.1. С. 54.

28. Захарченко С.О., Бондаренко Ю.В. Аналіз моделей роз-рахунку коефіцієнтів тертя за холодної прокатки штаб. *Матеріали XXII науково-технічної конференції студентів, магістрантів, аспірантів і викладачів ЗДІА*, 2017, ЗДІА, Т.1. С. 51.