

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)

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної магістерської роботи

рівень вищої освіти магістерський

(другий (магістерський) рівень)

на тему Реіновація стану гарячої прокатки 1680 щодо зменшення
повздожньої різнотовщинності штаб

Виконав: студент 2 курсу, групи 8.1362-омт

Марусенко Данііл Андрійович

(ПІБ)

(підпис)

спеціальності

136 Металургія

(шифр і назва)

спеціалізація

(шифр і назва)

освітньо-професійна програма

обробка металів тиском

(шифр і назва)

Керівник Кругляк Д.О.

(прізвище та ініціали)

(підпис)

Рецензент Бєлоконь Ю.О.

(прізвище та ініціали)

(підпис)

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. Белоконь

“ 07 ” 05 2023 року

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ (ПРОЕКТ) СТУДЕНТУ

Марусенко Данііл Андрійович
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) Реіновація стану гарячої прокатки 1680 щодо зменшення
повздожньої різнотовщинності штаб

керівник роботи (проекту) Кругляк Дмитро Олегович к.т.н, доцент
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від “04” 03 2023 року № 1580-с

2. Строк подання студентом роботи (проекта) 01.12.2023

3. Вихідні дані до роботи (проекта) вдосконалити стан першого покоління в умовах
ПАТ «Запоріжсталь» для зменшення поперечної різнотовщинності при виготовленні
широких штаб дозволять підвищити якість готової продукції

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Реферат. Вступ. Аналітично-пошукова частина. Дослідницько-
розрахункова частина, Економічні аспекти проблеми удосконалення технології
прокатки холоднокатаної штаби, Охорона праці та техногенна безпека, Висновки.
Перелік посилань.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
Креслення, презентаційний матеріал 11 слайдах (на 11 сторінках)

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата
		завдання прийняв
<i>Розділ 1</i>	<i>Кругляк Д.О., доцент</i>	
<i>Розділ 2</i>	<i>Кругляк Д.О., доцент</i>	
<i>Розділ 3</i>	<i>Кругляк Д.О., доцент</i>	
<i>Розділ 4</i>	<i>Кругляк Д.О., доцент</i>	
<i>Нормоконтроль</i>	<i>Белоконь Ю.О. завідувач кафедри</i>	

7. Дата видачі завдання 17.09.2023

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	<i>Вступ</i>	29.09.- 12.10.2023	
2	<i>Реферат</i>	12-16.10.2023	
3	<i>Розділ 1</i>	29.10- 11.11.2023	
4	<i>Розділ 2</i>	30.10- 07.12.2023	
4	<i>Розділ 3</i>	17-31.11.2023	
5	<i>Розділ 4</i>	24-31.11.2023	
6	<i>Висновки</i>	04.12.2023	

Студент _____ *Д.А. Марусенко*
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи) _____ *Д.О. Кругляк*
(підпис) (прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Дипломний проект складається з: 90 сторінок, 18 рисунків, 11 таблиць, 33 використаних літературних джерел.

Об'єкт дослідження - широкоштабовий стан гарячої прокатки 1680 Запорізького металургійного комбінату ВАТ «Запоріжсталь».

Мета роботи – розробка заходів щодо зменшення поздовжньої різнотовщинності штаб на ШСГП 1680 ВАТ «Запоріжсталь».

Дипломний проект складається з чотирьох частин. Перша частина - Загальна частина. Друга частина - Фактори що впливають на появу поздовжньої різнотовщинності. Третя частина - Заходи для зменшення поздовжньої різнотовщинності. Четверта частина - Охорона праці.

ГАРЯЧА ПРОКАТКА, ПРОГИБ, ВАЛОК, ШТАБА, КОЙЛ-БОКС, РІЗНОТОВЩИННІСТЬ, ПРОТИВИГИН, ПРОФІЛІРОВКА ВАЛКІВ, ВИРОБОТКА, СТАН.

ABSTRACT

Graduation project consists of 90 pages, 18 figures, 11 tables, 33 of sources used.

The object of study - hirokotabuchi the hot strip mill 1680 Zaporizhzhya metallurgical plant "Zaporizhstal".

The work purpose – development of measures on reduction of longitudinal crown of the headquarters of WS HRM 1680 at JSC "Zaporizhstal".

Graduation project consists of four parts. The first part is a generic part. The second part is the Factors affecting the appearance of the longitudinal thickness variation. The third part Measures for reducing the longitudinal thickness variation. The fourth part is the safety.

HOT ROLLING, DEFLECTION, ROLLS, STRIP, COIL-BOX, THE THICKNESS VARIATION, PROTIVIN, PROFLAME ROLLS, THE PRODUCTION OF THE STATE.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
1 ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА.....	9
1.1 Характеристика цеху гарячого прокатування штаб.....	9
1.2 Технічна характеристика обладнання стана.....	10
1.3 Технологічний процес прокатування.....	16
1.4 Деякі недоліки виробництва широкоштабової сталі	20
2 ФАКТОРИ ЩО ВПЛИВАЮТЬ НА ПОЯВУ ПОЗДОВЖНЬОЇ РІЗНОТОВЩИННОСТІ.....	23
2.1 Рівняння поздовжньої різнотовщинності штаб.....	27
2.2 Прирощення товщини штаби при гарячому прокатуванні.....	31
2.3 Вплив технологічних параметрів на формування поздовжньої різнотовщинності штаб.....	33
2.4 Зміна товщини заднього кінця штаби.....	34
2.5 Вплив товщини проміжного розкату на потовщення заднього кінця штаби.....	37
3 ЗАХОДИ ДЛЯ ЗМЕНШЕННЯ ПОЗДОВЖНЬОЇ РІЗНОТОВЩИННОСТІ.....	46
3.1 Додаткове обтиснення задньої кінцевої ділянки штаби.....	48
3.2 Регулювання міжвалкового зазору гідророзпором	49
3.3 Прокатування штаб на широкоштабовому стані з прискоренням...50	50
3.4 Застосування Койлбокс на проміжному рольгангу	56
3.5 Застосування напівбезперервного процесу прокатування.....	58
3.6 Зменшення коефіцієнту тертя та СНКН	60
3.7 Підвищення температури заднього кінця розкату.....	63
3.8 Вплив інших факторів.....	66
ВИСНОВОК.....	72
ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ.....	73
4 ОХОРОНА ПРАЦІ.....	74
4.1 Аналіз потенційних небезпечних і шкідливих факторів виробничого	

середовища.....	74
4.2 Заходи з поліпшення умов праці.....	77
4.3 Заходи з електробезпеки.....	81
4.4 Заходи з пожежної та техногенної безпеки	84
4.5 Розрахунок аерації прокатного цеху.....	88
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	92

ВСТУП

На сьогоднішній день загальносвітові тенденції розвитку металургії полягають у гнучкому задоволенні попиту та оптимізації технології, зниженні цін і підвищенні якості виробів. У нових економічних умовах промисловість України змушена насамперед орієнтуватися на якість металопродукції, особливо коли ця продукція надходить на світовий ринок. Від якості прокату, як кінцевого продукту металургійного виробництва багато в чому залежить ефективність металоспоживаючих галузей промисловості і, отже, його поліпшення є важливим завданням, що стоїть перед всім господарським комплексом країни. Економічні розрахунки свідчать про те, що поліпшення якості металопродукції значно більш ефективно, ніж збільшення обсягу її випуску. Однак, з причини складності процесів, що відбуваються при прокатуванні чорних і кольорових металів, вирішені далеко не всі проблеми, пов'язані з формуванням якості металопродукції. Особливо це стосується самого важливого чинника - обладнання для виробництва метаталопрокату. В порівнянні з багатьма європейськими країнами-виробниками подібної металопродукції, в наявності велике відставання в оснащеності сучасним і ефективним устаткуванням, що відповідає вимогам сьогодення. У сформованих умовах моделі, які адекватно описують процеси, що протікають в металі в процесі його формозміни, можуть служити базою для вдосконалення існуючих і розробки нових технологічних процесів прокатування, що забезпечують корінне поліпшення якості прокату. Таким чином розробка рекомендацій щодо їх практичного використання є актуальним завданням.

1. ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА

1.1 Характеристика цеху гарячого прокатування штаб

Цех гарячого прокатування тонких штаб призначений для виробництва товарних і переробних рулонів і штаб.

У цей час для забезпечення прокатування за схемою зливок-сляб-рулон виконана модернізація ряду чорнових клітей з установкою регульованих приводів на чорнових клітях дуо, №3, ; №4; вертикальних клітях №1, №2, і №3 і автоматична перебудова механізмів чорнових клітей.

До складу цеху входять: дільниця методичних нагрівальних печей; неперервний широкоштабовий стан 1680; дільниця підготовки валків; дільниця відділки штаб, що включає в себе ряд агрегатів для різки рулонів на штаби та поздовжнього розпуску на рулони.

Для нагрівання слябів використовуються чотирьохзонні методичні рекуперативні печі. Печі опалюються сумішшю доменного, коксового й природного газів.

ШСГП 1680 складається з двох груп клітей - чорнової і чистової. До чорнової групи входять: кліть дуо, чотири кліті «кварто» і три вертикальних кліті [4].

Обтиснення слябів на 20 – 25 мм відбувається в кліті дуо. Перед та за кліттю дуо встановлений гідрозбив для видалення окалини. Чотири чорнові кліті «кварто» прокатують сляб на проміжний розкат до товщини 18-28 мм. Вертикальні кліті обтисненняють розкат по ширині на 0,5-1,5 % для вирівнювання крайок штаби по ширині. Після прокатування штаба по проміжному рольгангу, рухається до чистової групи, яка складається з 6 чистових клітей, через проміжний змотуючий пристрій. Проміжний змотуючий пристрій «Койлбокс» змотує штабу в рулон і подає її заднім кінцем вперед в чистову групу клітей. Ця операція необхідна для вирівнювання температури штаби при прокатуванні по всій довжині розкату. Прокатування через проміжний пристрій дає змогу прокатувати штаби меншої товщини та більшої якості.

Чистовий окалиноломач призначений для зламування вторинної окалини і видалення її за допомогою води під високим тиском, яка подається зі спеціальних сопел, встановлених на гідравлічних колекторах.

Після прокатування штаби в чистовій групі клітей відбувається охолодження штаби перед змотуванням на душуючому пристрої. Після охолодження штаба змотується в рулони.

Змотувачі № 1, 2, 3 призначені для змотування штаб вуглецевих сталей товщиною 1,7 - 8,0 мм, при температурі штаби 500 – 800 °С. Швидкість змотування до 15 м/с., кількість формуючих роликів машини - 2.

Змотувачі № 4, 5, 6 - ролико-барабанні, мають 8 роликів. Призначені для змотування штаб вуглецевих сталей товщиною 1,8 - 6,0 мм. Мінімальна температура змотування штаб – 600 °С.

Вантажно – поворотний стіл з вантажопідйомністю 25 т призначений для передачі рулонів з конвеєра, який відводить їх від змотувачів для переділу на гарячекатану штабу і в ЦХП-1 для переділу на холоднокатану штабу.

Дільниця підготовки валків включає у себе: дільницю ревізії підшипників, дільницю шліфовки валків, дільницю збору та розбору валків. На дільниці розміщені верстати для шліфування валків, шліфування відбувається абразивними колами, які перед використанням перевіряються на міцність. Розміщено один шліфувальний верстат для шліфування робочих валків «Геркулес», в процесі будівництва другий верстат для шліфування опорних валків стана 1680.

Дільниця ревізії та збору, розбору валків включає в себе спеціально підготовлені місця для огляду та ремонту валків та подушок.

На дільниці розміщено три апарати для підігріву валків перед прокатуванням, а також 3 – в прольоті стана.

На ділянці відділки штаб розташовані агрегати поперечної різки №1 і №2, агрегати поздовжньої різки №3, №2.

Агрегати поперечної різки №1 і №2 призначені для різки рулонів на штаби довжиною від 1500 до 6000 мм. Після різки пачки траверсою передаються на пакувальну ділянку. Пачки пакуються вздовж і впоперек декількома штабами за допомогою пневматичних машинок. Кожна пачка маркується двома бірками, на яких вказують розміри штаб, № плавки, № замовлення, марка сталі.

Агрегати поздовжньої різки №3, №4 призначені для різки рулонів розмірами від 1000 до 1500 мм вздовж на бунти розмірами від 30 до 1500 мм. Рулон після різки пакується на змотувачі, а потім в збірному кармані (на агрегаті №3 на поворотній колонці).

До складу цеху входить відділення гнутих профілів. Це відділення включає в себе стани $1 \div 4 \times 400 \div 1500$, $2 \div 7 \times 80 \div 500$, $1 \div 4 \times 50 \div 300$. Вихідним матеріалом для гнутих профілів служать гарячекатані рулони після поздовжнього розпуску на агрегаті поздовжньої різки №3, №2.

Сортамент відділення гнутих профілів представлений близько 573 профілерозмірами [5]. Це – кути, швелери, замкнуті профілі, гофровані профілі та ін.

1.2 Технічна характеристика обладнання стана

Методичні печі необхідні для нагріву зливків перед прокатуванням на ШСГП у тому випадку, якщо прокатування є не транзитним. Повітря необхідне для горіння, підігрівається в блоковому керамічному рекуператорі обсягом 330 м^2 до температури від 500°C до 600°C . Для відводу продуктів горіння від всіх печей встановлені борова та два димарі висотою 85 метрів.

Посадка слябів у печі відбувається поплавно з відділенням слябів різних плавок і розмірів спеціальними прокладками.

Сляби саджають як у гарячому, так й у холодному стані, за винятком окремих марок низьколегованих сталей, а для всіх високолегованих і нержавіючих сталей використовують тільки холодну посадку слябів.

Коротка технічна характеристика й основні розміри робочого простору нагрівальних печей приведена в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Коротка технічна характеристика і основні розміри робочого простору нагрівальних печей

Найменування	Одиниця виміру	№ печей
		1,2,3,4
Корисна довжина	мм	31540
Ширина печі	мм	5220
Довжина методичної зони	мм	5520
Довжина другої зварювальної зони	мм	7810
Довжина першої зварювальної зони	мм	9280
Довжина томильної зони	мм	8930
Теплова потужність	ккал/ч	53 x 10 ⁶

Для завантаження і переміщення слябів через печі використовуються два штовхачі рейкового типу, кожен з яких має зусилля 80 тон. Кожна зона печі обладнана системою контролю й регулювання температури. На кожній печі автоматично регулюється тиск за допомогою електричного регулятора й виконавчого механізму, що управляє шибером.

Регулювання температури по зонах печі відбувається за допомогою контрольно-вимірювальної апаратури.

Печі опалюються сумішшю доменного, коксового і природного газів, а у випадку відсутності природного газу - сумішшю коксового й доменного газів.

На тепловому щиті печей встановлений швидкодіючий потенціометр, що реєструє температуру поверхні розкатів за 4-ої кліттю по імпульсах від фотоелектричного пірометра.

Неперервний широкоштабовий стан 1680 складається із двох груп клітей - чорнової та чистової й обслуговуючого обладнання.

До складу чорнової групи входять: одна кліть дуо, чотири кліті «Кварто» (№1,2,3,4) (рис. 1.1) і три вертикальних (№1,2,3) кліті «еджери».

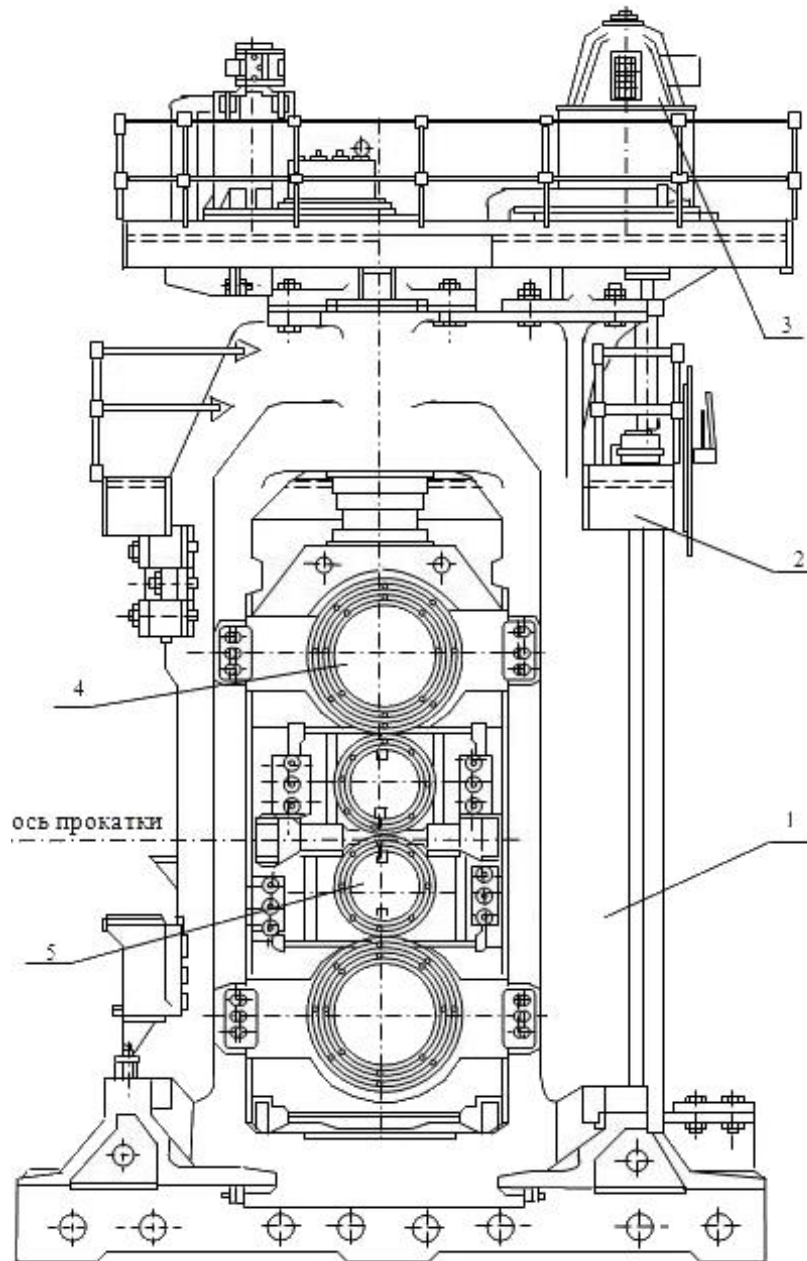


Рисунок 1.1 – Чорнова кліть «кварто»: 1 – станина; 2 – шпинделі; 3 – електродвигун; 4 – валок опорний; 5 – валок робочий.

Обтиснення штаби на 20 – 25 мм та зламвання окалини відбувається в кліті дуо. Для видалення окалини служать гідрозбивив, які встановлені перед і за кліттю дуо, за клітями №2 і №3 та за чистовим окалиноломачем. Чотири чорнові кліті «кварто» прокатують сляб до товщини 18-28 мм. Вертикальні кліті обтисненняють штабу по ширині на 0,5-1,5 % для вирівнювання крайок штаби по ширині.

Таблиця 1.2 – Коротка характеристика валків стана НТЛС 1680

Валки клітей	D _н , мм	D _к , мм	ℓ _б , мм	ℓ _{заг} , мм	D _ш	D _{трефа}	Матеріал валків
дуо	900	810	1680	4240	620	440	50ХН
№1 _{роб}	940	880	2440	4800	660	580	90ХФ
№2 _{роб}	850	780	1680	4070	480	440	90ХФ
№1 _{опор}	1320	1245	2440	5070	750	-	90ХФ
2 – 10 _{опор}	1240	1170	1680	4320	650	-	90ХФ
3 – 10 _{роб}	620 ⁺⁶	585	1680	3730	395	360	двошаров. чавун

Валки підготовують до роботи на дільниці підготовки валків. Саме на цій дільниці вони проходять огляд, відбувається шліфування валків для прокатування на стані. Валки після огляду підігриваються на нагрівальних пристроях, після нагріву завалюються за допомогою перевалочної муфти та крана.

Швидкості прокатування в клітях чистової групи повинні забезпечити в умовах заданих величин обтиснень необхідні температури кінця прокатування для даного профілю й даної групи марок сталі.

Таблиця 1.3 – Допустимі обтискання у клітях чистової групи при прокатуванні штаб різної ширини з вуглецевих і низьколегованих марок сталей, %

№ клітей	Ширина штаби, мм	
	До 1200	Від 1200 до 1500
5,6	50	45
7,8	40	35
9	25	25
10	15	15

Обтискання по клітях чорнової групи не повинні перевищувати величин, зазначених у таблиці 1.2.

Таблиця 1.4 – Максимальний обтиск, який допускають по клітях чорнової групи залежно від ширини сляба

Кліть	Максимальний обтискнення при прокатуванні вуглецевих та низько вуглецевих сталей, %	
	Ширина сляба до 1250 мм	Ширина сляба понад 1250 мм
дуо	25	20
1	37	35
2	40	37
3	40	37
4	40	37

Для регулювання натягування штаби між клітьми чистової групи встановлені петлетримачі (рис. 1.2).

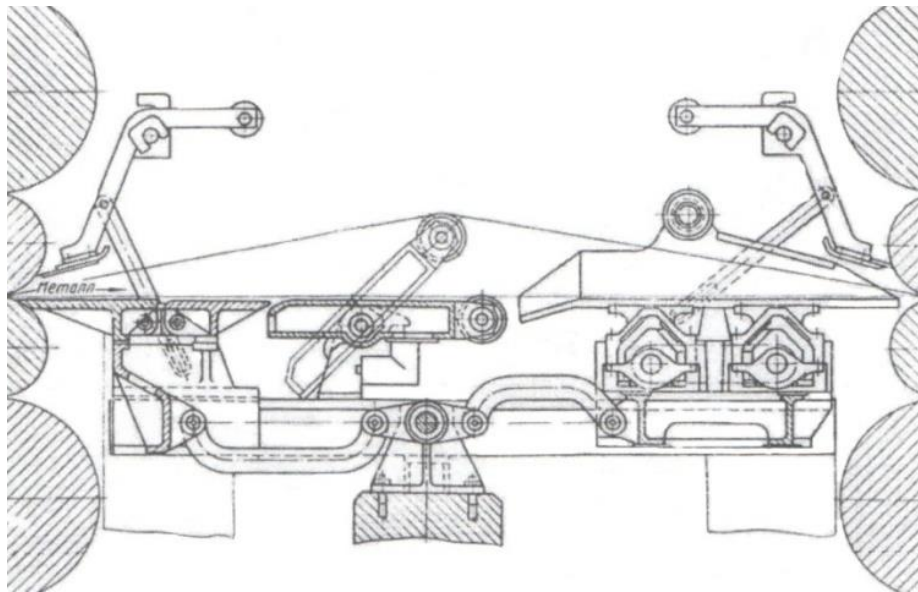


Рисунок 1.2 – Загальний вид петлетримача між клітьми чистової групи

1.3 Технологічний процес прокатування

Всі сляби, призначені для прямої прокатування, без затримок передаються по прямому рольгангу до ШСГП 1680.

Температура слябів, призначених для подальшої прямої прокатування на ШСГП 1680, повинна бути не менше вказаної в таблиці 1.4.

Обтиснення країв розкату виконується у вертикальних валках (еджерах), установлених перед клітьми № 2, 3 і 4 на величину від 4 до 32 мм.

Температура розкатів за 4-й кліттю повинна бути в межах 1040 – 1120 ° для забезпечення температури кінця прокатування штаб у заданих межах.

Збив окалини зі штаб I, II, III груп марок сталей відбувається всіма колекторами води високого тиску при роботі трьох насосів, при тиску води не менше 80 атмосфер.

Сляб після видалення окалини в установці гідрозбиву №1 прокатується в першій неперервній підгрупі (кліті дуо та №1). Розкат після виходу з кліті

№1 не повинен бути довжиною більше 17250 мм та повністю вміщуватись на рольгангу від кліті №1 до еджерної кліті №1.

Таблиця 1.5 – Мінімально допустима температура слябів, призначених для прямої прокатування ШСГП 1680

Вид сляба	Тип зливку	Ширина слябів,мм	Температура поверхні перед кліттю дуо, °С
Одинарні та подвійні товщиною 150-168 мм	15	850-960	1060
	1Б	970-1160	1060
	2Б	1170-1360	1070
	4А	1370-1520	1070
Подвійні товщиною 130-150мм	всіх типів	всіх ширин	1070

Обтискання та швидкість в кліті дуо обираються таким чином, щоб швидкість входу розкату в кліть №1 була рівною швидкості прокатування в кліті дуо.

Після виходу заднього кінця розкату з кліті №1 він прокатується в другій неперервній підгрупі.

Обтискання та швидкість в кліті №3 вибираються таким чином, щоб швидкість входу розкату в кліть №3 була рівною швидкості прокатування в кліті №2.

Швидкість еджерної кліті №1 встановлюється рівною швидкості входу розкату до кліті №2.

Швидкість еджерної кліті №2 встановлюється рівною швидкості прокатування в кліті №2.

Після виходу заднього кінця розкату з кліті №2 швидкість прокатування в кліті №3 та в еджерній кліті №3 знижується до швидкості

входу розкату до кліті №4 ти виконується прокатування в третій неперервній підгрупі.

Швидкість еджерної кліті №2 встановлюється рівною швидкості входу розкату до кліті №3.

Для забезпечення надійної роботи кінцевих ножиць перед чистовою групою стана швидкість прокатування в кліті 4 встановлюється рівною 1,90 м/с.

Розкат із чорнової групи надходить до летючих ножиць для обрізки переднього й заднього кінця, обов'язково обрізають передній кінець розкату при товщині розкату в чистовій групі від 2 до 3,5 мм, при прокатуванні інших товщин обрізка виконується вибірково.

Витрати води для охолодження робочих валків повинні бути не менше 3700 – 3800 м³/год.

ПАТ «Запоріжсталь» встановив відповідно останнім досягненням Койлбокс у лінії стана гарячого прокатування 1680. Койлбокс забезпечить більш рівномірний розподіл температур розкату, який задається в чистову групу клітей, що дозволить зменшити повздовжню різнотовщинність штаби. Це дозволить розширити асортимент продукції й збільшити розмір рулону з одночасним підвищенням якості.

Технологія Койлбокс це проміжний процес, метою якого є змотування розкату на високій швидкості при виході із чорнової групи клітей з наступним розмотуванням матеріалу на більш низькій швидкості та його задаванні в чистову групу клітей. Технологія Койлбокс зробила революційні зміни у виробництві сталевого гарячекатаного листа завдяки двом ключовим принципам: збереженню температури й обробці довгих розкатів. Процес змотування скорочує площу поверхні тепловипромінювання розкату. В результаті підкат після розмотування має фактично таку ж температуру, що й при змотуванні, що дозволяє вести прокатування в чистових клітях з постійною швидкістю. Технологія Койлбокс дозволяє скоротити витрати електроенергії при прокатуванні матеріалу в чистовій групі клітей,

забезпечує більшу однорідність металургійних властивостей по довжині кінцевого продукту й дозволяє розширити асортименти продукції, що прокатується на стані. На додаток до цього, змотування розкату може бути розпочато, коли розкат усе ще перебуває в чорновій групі, таким чином, стан гарячого прокатування «Запоріжсталі» зможе обробляти більш довгі розкати. Технологія Койлбокс і конструкція пристрою за останні тридцять років були істотно вдосконалені, результатом чого став високий рівень ефективності, надійності, якості продукції й рівномірного розподілу температур.

Далі розкат надходить в чистову групу клітей, де обтисненняється до необхідної товщини розкату.

Витрати води для охолодження робочих валків чистової групи повинна бути не менше 3700 – 3800 м³/год.

При розподілі обтиснень у клітях чистової групи, старший вальцювальник чистової групи або стана стежить за тим, щоб двигуни не перевищували граничні допуски.

Прокатані штаби, призначені для подальшого переділу в ЦГПТЛ, ЦХП-1 і ЦХП-3 транспортують по центральному рольгангу до змотувачів № 1-3. швидкість обертання роликів рольгангів не повинна перевищувати швидкість прокатування більш ніж на 50 м/хв.

Перед змотувачами встановлений душуючий пристрій для охолодження розкату перед змотуванням у рулони. Змотані штаби на змотувачах № 1- 3 у рулон, виштовхуються штовхачем на кантувач й далі кантується на прийомний візок, рулон із прийомного візка транспортується до конвеєра №2, де за допомогою приймача рулонів устанавлюється на ланцюзі конвеєра. При досягненні рулоном краю конвеєра №2 під рулон заходить крокуюча балка, піднімає й опускає рулон на нерухомі балки, транспортуючи його в такий спосіб до конвеєра №1, далі рулон знімають приймачем рулонів й устанавлюють його на конвеєр №1.

По конвеєру рулон відводиться до вантажно – поворотного столу №1, де піднімається на висоту 550 мм, після вантажно – поворотного столу №1

рулони, призначені для подальшого переділу в ЦГПТЛ і ЦХП-3, транспортуються до поворотного конвеєра й надходять на транспортний конвеєр у проліт складу рулонів.

Рулони, призначені для подальшого переділу в ЦХП-1, після вантажно - поворотного столу №1 транспортуються до вантажно - поворотного стола №2 і після установки на ланцюзі конвеєра передаються в ЦХП-1.

1.4 Деякі недоліки технології виробництва широкоштабової сталі

Кліть кварто для прокатування штаб має в складі робочі й опорні валки з подушками, встановленими у вікнах станин. Подушки нижнього опорного валка спираються на плоскі пластини, необхідні для регулювання положення нижнього опорного валка щодо лінії прокатування. Зміна міжвалкового зазору виконується за допомогою натискного пристрою. Верхні опорний і робочий валки врівноважуються плунжерами гідравлічних пристроїв [**Error! Reference source not found.**].

Недоліком такого комплекту валків з подушками є те, що унаслідок плоского контакту нижньої подушки зі змінною (регульовальною) пластиною і плоским контактом плунжерів врівноважування з поверхнями подушок верхнього опорного і робочого валків відсутня можливість самоцентрування подушок з підшипниками кочення щодо шийок валків. При вигині валків, при прокатуванні штаби, шийки переміщуються у вертикальній площині по лінії вигину і це, при незмінному положенні подушок, призводить до нерівномірного розподілу навантажень на ролики підшипників. Як правило основне навантаження, при чотирирядному підшипнику, сприймають перший і четвертий ряд роликів, що обумовлює передчасний вихід їх із ладу. Найбільше навантаження на ролики має місце при цілком затиснених шийках у підшипниках, тобто при відсутності зазорів між шийками і внутрішнім кільцем підшипника.

При наявності великих зазорів усе навантаження приходить на перший (від бочки валка) ряд роликів. У цьому випадку прогин опорного валка буде максимальним. При різній величині зазорів на лівому і правому підшипниках лінія прогину несиметрична щодо осі кліті. При будь-яких зазорах у шийках валків комплект верхніх і нижніх подушок являє собою тверду систему, без можливості самоцентрування щодо шийок валків.

Відзначимо основні недоліки виробництва штаб з маловуглецевої сталі на ШСГП з розливанням у виливниці та прокатуванням із злитків товстих слябів (рис. 1.1, а):

- Втрати металу в кінцеву обрізь при прокатуванні слябів (9...12%);
- додаткова витрата енергії на нагрів і прокатування видаляємих ділянок довжини слябів;
- Витрати додаткової енергії для нагрівання слябів перед ШСГП або втрати тепла під час транзитного прокатування слябів на ШСГП;
- Витрата металу в окалину та обрізь при прокатуванні до 2,5...3,0%;
- Великі втрати тепла при транспортуванні розкату по проміжному рольгангу ШСГП (50...100 °С);
- наявність потовщених кінцевих ділянок штаб при прокатуванні їх на ШСГП без натягування;
- Втрати металу в обрізь кінцевих ділянок гарячекатаної штаби перед стиковим зварюванням у лінії НТА (НСХП) (до 1,5%).

У разі використання товстих литих слябів з МБЛЗ (рис. 1.1, а) втрати металу на ділянці до ШСГП практично виключаються, істотно скорочуються енергетичні витрати, особливо при транзитному прокатуванні на ШСГП.

Кардинальне поліпшення техніко-економічних показників виробництва штаб досягається на ЛПА (рис. 1.1, б) в лінії, яких застосовують безперервнолиті тонкі заготовки (сляби).

Тим не менш, створені останнім часом прогресивні технологічні процеси виробництва широкоштабової сталі, на наш погляд, також мають деякі недоліки. Наприклад, процес прокатування тонкої штаби з проміжного

розкату $H_p = 15...35$ мм (після чорнових клітей) на безперервному штабовому стані ШСГП у складі ЛПА, що складається з 5-7 клітей містить, як правило, три етапи [2,4,5]:

- При прокатуванні штаб товщиною $h \leq 1,0$ передній кінець штаби випускають товщиною 1,5...2,0 мм при швидкості $V_1 = 10...15$ м/с (до захвату переднього кінця штаби моталкою), а потім зменшують товщину штаби до необхідного розміру;

- Прискорення обертання валків і швидкості штаби до $V_2 \geq 20$ м/с;

- Прокатування штаби зі швидкістю $V_3 \geq 20$ м/с до виходу з чистової кліті.

Недоліками даної технології при використанні є необхідність прискорення обертання валків всіх 5-7 клітей після захоплення штаби моталкою, на що витрачається значна кількість електроенергії, необхідність оперативного регулювання деформаційно-температурного режиму прокатування штаб в 5-7 клітях для отримання необхідних механічних властивостей, при прокатуванні штабів при кінцевих температурах 750...800 °С задіяні усі 5-7 клітей, що призводить до додаткових втрат електроенергії при деформації металу.

Ці зауваження повною мірою відносяться і до технології прокатування штаб на ШСГП з традиційним використанням товстих слябів ($H = 160..300$ мм) для отримання тонких штаб. Зазначені вище недоліки технологічних процесів ШСГП і ЛПА можуть бути усунені під час їх реконструкції шляхом використання пропонованих нижче технічних розробок.

2. ФАКТОРИ ЩО ВПЛИВАЮТЬ НА ПОЯВУ ПОЗДОВЖНЬОЇ РІЗНОТОВЩИННОСТІ.

Поздовжня різнотовщинність штаби є різниця в її товщині в різних точках довжини

$$\delta h_p = h_i - h_m ;$$

де h_m – мінімальна товщина штаби на її довжині; h_i – товщина штаби в різних ділянках (i - номер ділянки штаби). Поздовжня різнотовщинність виникає внаслідок змін зазору між робочими валками в процесі її прокатування, викликаються змінами пружних деформацій робочої кліті.

Поздовжня різнотовщинність штаби обумовлена наступними технологічними факторами [29.]:

- Відсутністю натягування переднього і заднього кінців штаби при безперервному прокатуванні. Відсутність натягування викликає збільшення зусилля прокатування, пружних деформацій деталей кліті і міжвалкового зазору;

- Наявністю температурного клину по довжині розкату на проміжному рольгангу, що сприяє збільшенню товщини штаби на задньому кінці;

- При нагріванні слябів в методичних печах з глісажними трубами, на гуркоті з'являються менш нагріті ділянки в місцях контакту з глісажними трубами;

- Коливаннями натягування штаби на межклетевих ділянках внаслідок наявності поздовжньої різнотовщинності штаби, зміни обтиснення і секундних обсягів металу по всій довжині;

- Ексцентриситетом діаметрів робочих і опорних валків, що періодично змінює міжвалковий зазор і, отже, товщину готової штаби. Перші три чинники викликають появу низькочастотної поздовжньої різнотовщинності, а два останніх - високочастотну з меншою амплітудою по висоті штаби.

Найбільший вплив на поздовжню різнотовщинність гарячекатаних штаб, як правило, надають коливання температури і межклетєвих натягувань.

Практика показує, що максимальні відхилення товщини штаби на її головному ($\delta h_{\text{п}}=0,05 - 0,08$ мм) і на хвостовому ($\delta h_{\text{п}} = 0,1 - 0,15$ мм). Потовщення головній ділянці поширюються на довжині 10 - 15 м, а на хвостовому (задньому) - на довжині 20 - 30 м. На Рис. 2.1 показаний характер зміни параметрів прокатування штаб для ШСГП з транзитною (прямою) схемою технологічного процесу. Ділянка 1 - 4 відповідає ідеалізованій схемою зменшення температури розкату від переднього кінця (1) до заднього (2). Однак кінцеві ділянки отримують додаткове охолодження від торцевих поверхонь.

Тому фактичні температури на кінцях розкату будуть нижчими на 10 - 150С (ділянки 11, 41). На ділянці 2 - 3 відбувається зниження температури внаслідок більш пізнього входу заднього кінця розкату в чистову групу клітей. У відповідність з зміною температури по довжині штаби змінюється, зусилля прокатування (рис.2.1, б) і товщина штаби яка прокатується (рис. 2.1, в). При наявності ППП ділянки 2 - 3 (рис. 2.1, в) прокатуються практично з однаковою товщиною, а товщина штаби на ділянках 1 і 4 дещо більше. Наведені дані відносяться до прокатування на ШСГП, без регулювання міжвалкового розчину по довжині штаби яка прокатується.

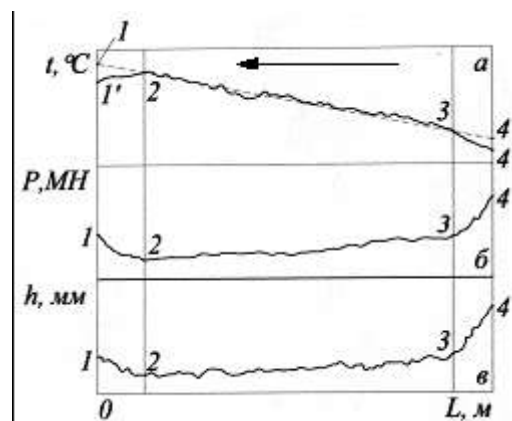


Рисунок 2.1 – Зміна температури (а), зусилля (б) і товщини (в) по довжині прокатування штаби на традиційному ШСГП.

Для зниження поздовжньої різнотовщинності штаб ефективні прискорення валків чистової групи сталі після захоплення переднього кінця

штаби моталкою і застосування койл-боксу (ППП- Проміжного перемотувального пристрою), що встановлюється на проміжному рольгангу перед ножицями обрізки кінців розкату. Найбільш раціональним є установка ППП, застосування якого забезпечує високу температуру розкату перед чистовою групою (до 10000С) і градієнт температур по довжині розкату в межах 10 - 300С (задній кінець з меншою температурою).

Зазначені способи практично усувають подовжню різнотовщинність практично по всій довжині готової штаби, крім кінцевих ділянок, прокатуваних без перегинів. Для зменшення товщини кінцевих ділянок слід застосовувати додаткові обтиснення починаючи з першої кліті чистової групи для ШСГП з традиційною схемою технології прокатування. Відмітимо, що коливання товщини підкату для чистової групи клітей формуються в основному в останній кліті чорнової групи. Подовжню різнотовщинність штаби визначають товщиноміром, встановленим після чистової кліті, виміром окремих аркушів після порізки рулону і теоретичним шляхом [11, 12, 13]. Фактична зміна товщини штаби, отриманої після прокатування на ШСГП 1680 показано на Рис.2.2.

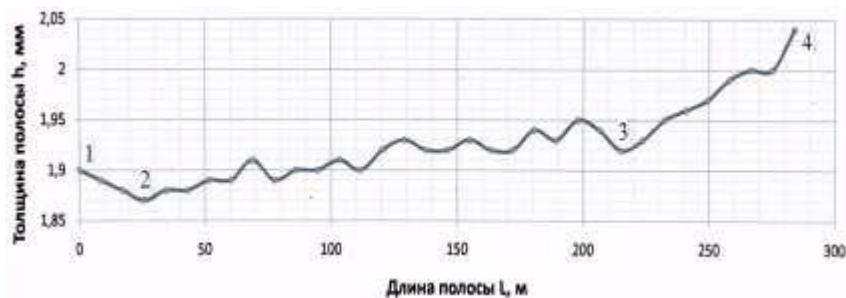


Рисунок 2.2 – Зміна товщини штаби 2x1120 мм при транзитному прокатуванні на ШСГП 1680 з додатковим обтисненням заднього кінця по продуктіметру в клітях №№ 6 - 9, Sdi, мм: 6 - 0,22; 7 - 0,34; 8 - 0,27; 9 - 0,18 (без ППП)

Подовжня різнотовщинність штаби в тій чи іншій мірі має місце на всіх станах гарячого та холодного прокатування. Менша на станах сучасної

конструкції і велика на станах старої конструкції. На рис. 2.1 показана характерна профілограмма зміни товщини штаби 2 x 1100 мм, прокатоної на широкоштабовому стані гарячого прокатування (ШСГП) 1680 при відсутності достатньої кількості каналів регулювання міжвалкового зазору.

Як впливає з рисунку 2.1, величина відхилень товщини штаби на основній довжині (~ 85%), у тому числі і на передньому кінці становить $\delta h_{\text{п}} = 0,02 - 0,07$ мм. (ділянка 2-3). Підвищення товщини штаби до задньої кінцевої ділянки, при наявності переднього і заднього натягувань, обумовлено зниженням температури (температурним градієнтом). Потовщення заднього кінця штаби щодо мінімальної товщини на передньому кінці становить $\delta h_{\text{п}} = 0,2$ мм, незважаючи на додаткове обтиснення заднього кінцевого ділянки в клітках № 6 - 9. Для усунення прирощення товщини на ділянці 2-3 необхідне монотонне безперервне зменшення міжвалкового зазору. На ділянці 3-4, де відбувається додаткове прирощення товщини внаслідок відсутності натягування заднього кінця у всіх клітках чистової групи, необхідно застосування локального впливу на процес прокатування для відповідного зменшення міжвалкового зазору.

Беручи до уваги, що закономірності формування товщини по довжині штаби досить повно розглянуті в роботах: В.К. Хессенберга і В.Н. Дженкінса, Ю.В. Коновалова, І.М. Меєровича зі співавторами, Ю.Д. Железнова зі співавторами, В.П. Полухіна [1-6 та ін.], В даній роботі розглянуті лише можливі технологічні рішення зменшення (усунення) кінцевих потовщень штаби, які утворюються в результаті відсутності заднього натягування штаби, при проходженні безперервної чистової групи сталі.

За останні 20 - 30 років в технологічних процесах традиційних ШСГП зі слябовою прокатуванням відбулися істотні зміни, які внесли певні корективи у формування товщини штаби (наприклад, застосування прямої прокатування слябів минаючи нагрівальні печі, застосування прискорення валків чистової групи, застосування Койлбокс і т.п) . Наприклад,

застосування на ШСГП Койлбокс помітно зменшує потовщення заднього кінця і практично усуває потовщення переднього кінця штаби [7].

Нижче коротко розглянуті теоретичні положення формування товщини по довжині штаби.

2.1. Рівняння поздовжньої різнотовщинності штаб

Поздовжня різнотовщинність штаб обумовлена зміною міжвалкового зазору внаслідок дії змінної сили прокатування, модулю жорсткості кліті і штаби. При постійному значенні модуля жорсткості штаби ($M_{\text{ш}} = \text{const}$) товщина штаби визначається виразом [1-6] (рівняння Сімса - Головіна)

$$h_i = S_0 + P_i / M_{\text{кл}}; \quad \delta h_{\text{ш}} = \Delta P_i / M_{\text{кл}}, \quad (2.1)$$

де S_0 - інсталяційний зазор між валками при відсутності штаби; P - сила прокатування; ΔP_i - різниця між великими і мінімальними силами; $\delta h_{\text{ш}}$ - приріст товщини штаби; $M_{\text{кл}}$ - модуль жорсткості кліті.

Інсталяційний зазор S_0 - визначається силою прокатування і товщиною штаби, яку необхідно одержати в даній кліті (проході). Зазор S_0 - може бути рівний $S_0 \gg 0$. При експериментальному визначенні сили прокатування по довжині штаби ($M_{\text{ш}} = \text{const}$) товщина штаби в будь-якій точці довжини штаби також розраховується за виразом (2.1). У разі нерівності модуля жорсткості штаби $M_{\text{ш}}$ по довжині штаби визначення товщини штаби h_i теоретичним шляхом, можливо при використанні виразу [2-6]

$$h_i = S_0 + P_i / (M_{\text{кл}} + M_{\text{ш}i}), \quad (2.2)$$

де $M_{\text{ш}i}$ - змінний по довжині модуль жорсткості штаби

З урахуванням виразу (2.2) теоретично можливо розрахувати поздовжню різнотовщинність по довжині штаби

$$\delta h_i = h_i - h_{\text{min}}, \quad (2.3)$$

де h_{\min} - мінімальна товщина даної штаби.

Вирішення цього завдання виконується з використанням наступного диференціального виразу

$$\delta h_{II} = \frac{1}{M_{кл} + M_{II}} \left(M_{кл} \cdot dS + \frac{\partial P}{\partial H} dH + \frac{\partial P}{\partial R} dR + \frac{\partial P}{\partial B} dB + \frac{\partial P}{\partial \sigma_T} d\sigma_T + \frac{\partial P}{\partial f} df + \frac{\partial P}{\partial \sigma_0} d\sigma_0 + \frac{\partial P}{\partial \sigma_1} d\sigma_1 + \frac{\partial P}{\partial u} du + \frac{\partial P}{\partial t} dt \right), \quad (2.4)$$

де H - вихідна товщина штаби; R - радіус робочого валка; B - ширина штаби до прокатування; σ_T - середня напруження течії металу; f - Коефіцієнт зовнішнього тертя; σ_0 і

σ_1 - напруження натягування відповідно заднє і переднє; u - швидкість деформації металу; t - температура штаби.

У спрощеному вигляді вираз (2.4) записується в кінцевих різницях таким чином

$$\delta h_{II} = \Delta P / (M_{кл} + M_{II}), \quad (2.5)$$

де ΔP - відмінність між поточним значенням P_i та мінімальним P_{\min} ; M_{II} - модуль жорсткості штаби на i -х ділянках.

У рівнянні (2.4) диференціали виду $\frac{\partial P}{\partial H}$ та ін. представляють кут нахилу α даної складової (рис. 2.2, крива 1), а параметр $\frac{\partial P}{\partial H} dH$ та ін. зміна пружної деформації кліти при зміні товщини штаби на величину dH .

Модуль жорсткості кліти визначають з виразу

$$M_{кл} = \Delta P / \delta h_i; \quad \delta h_i = \Delta P / M_{кл}, \quad (2.6)$$

Модуль жорсткості кліти залежить від розмірів стана і ширини штаби і за даними [5, 7-10] для клітей неперервних станів гарячого прокатування рівні ($M_{кл}$, МН/мм):

стан 1700 - КарМК - 3,6...3,9; [8]

стан 2000 - НЛМК - 5,5...6,0; [8]

стан 1680 - ЗМК - 3,06...3,62. [5]

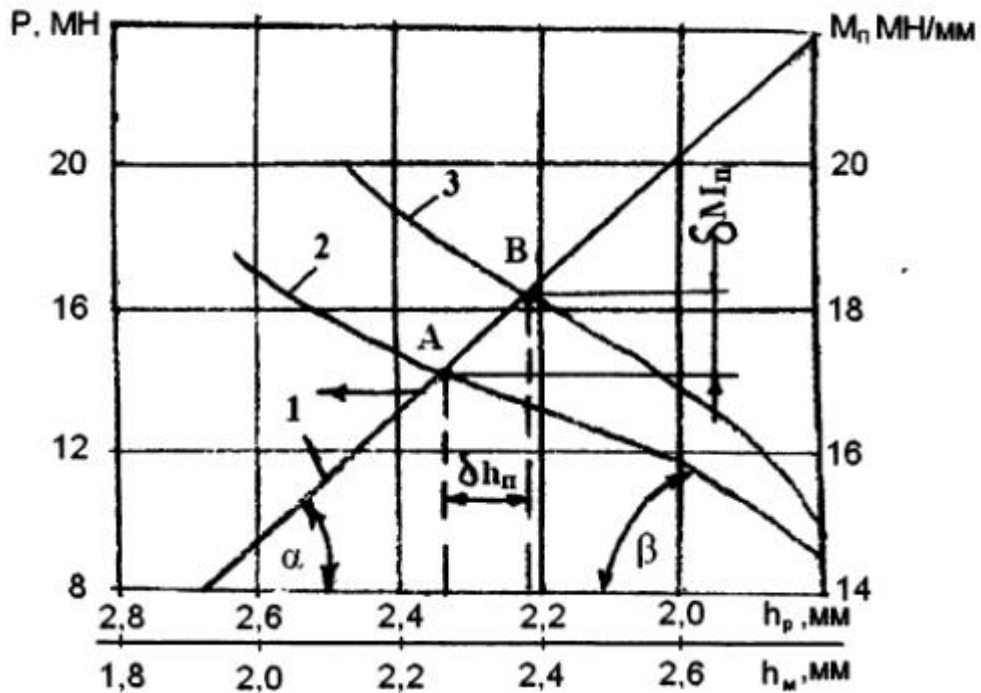


Рис. 2.3. Графічне рішення пошуку фактичної товщини штаби по розрахунковим величинам P і $M_{\text{п}}$: 1 - зміна сили прокатування; 2 - зміна модуля жорсткості штаби; 3 - зміна модуля жорсткості штаби при збільшенні, наприклад: коефіцієнту тертя. ($D_{\text{р}} = 500$ мм, $B = 1250$ мм, $H = 3$ мм, $v = 2$ м/с; $\sigma_0 = 20$ Н/мм², $\sigma_{\text{п}} = 150$ Н/мм²; $M_{\text{кл}} = 2.3$ МН/мм).

За даними досліджень [2,10] модулі жорсткості клітей неперервних станів холодного прокатування рівні ($M_{\text{кл}}$, МН/мм²):

стан 1700 КарМК - 4,2; [2]

стан 1200 НЛМК - 4,2...4,5; [10]

стан 1680 ЗМК - 3,06...3,16; [10]

стан 1700-5,18...5,8; [10]

Примітка: КарМК - Карагандинський меткомбінат; НЛМК - Новолипецький меткомбінат; ЗМК - меткомбінат "Запоріжсталь".

Великі значення $M_{\text{кл}}$ відповідають максимальній ширині штаби для даного стана. Чим більше величина модуля жорсткості кліті, тим менше вертикальна пружна деформація кліті і зміна міжвалкового зазору.

При наявності експериментальних даних по силі прокатування, визначається справжня кінцева товщина штаби

$$h = S_0 + P / M_{кл}.$$

У цьому випадку подовжню різнотовщинність штаби в перетині визначають за виразом (рис. 2.1)

$$\delta h_{\Pi} = \frac{P_i - P_m}{M_{кл}}, \quad (2.7)$$

де P_i - Максимальна сила прокатування; P_m - мінімальна сила прокатування.

При стисненні робочих валків без металу ("забій" валків) зазор S_0 отримує мінусове значення. Модуль жорсткості штаби в загальному випадку дорівнює [3] (середній в осередку деформації)

$$M_{\Pi} = \varphi_1 \cdot P / \Delta h, \quad (2.8)$$

де φ_1 - коефіцієнт, що враховує кривизну пластичної кривої (рис. 2.3, криві 2, 3).

Коефіцієнт φ_1 можна визначити за графічним залежностям роботи [3], які після апроксимування представлені залежностями:

для гарячого прокатування штаб

$$\varphi_1 = (0,57 + 0,62\varepsilon) \cdot [1 + 0,023(R/H)^{0,5}], \quad (2.9)$$

для холодного прокатування штаб

$$\varphi_1 = [0,6 + 2,25(\varepsilon - 0,1)^2] \cdot (0,6 + 0,45f\sqrt{R/H}) \cdot (0,55 + 1,5\varepsilon), \quad (2.10)$$

де ε - відносне обтиснення; R - радіус валків; f - Коефіцієнт тертя за законом Амонтона.

Для теоретичного розрахунку дійсної товщини штаби і подовжньої різнотовщинності штаби відомо кілька методів.

2.2 Прирошення товщини штаби при гарячому прокатуванні

В даний час штабову сталь прокатують з литих або катаних слябів минаючи нагрів в методичних печах. Катані сляби зі слябінга транзитом по транспортному рольгангу передають до чорновій групі клітей широкоштабового стана гарячого прокатування (ШСГП). На проміжному рольгангу між чорною і чистою групами клітей встановлюють Койлбокс (проміжно перемотувальний пристрій - ППП), що забезпечує зменшення градієнта температур по довжині проміжного розкату.

Реалізується технологія прокатування штаб з тонких слябів ($H = 50 - 70$ мм) і з рідкого металу на ливарно-прокатних агрегатах (ЛПА) з валковим розливанням [35, 37, 41]. Безперервні стани оснащуються вдосконаленими конструкціями робочих клітей, системами автоматичного регулювання товщини, площинності штаби і межклетевого натягування. Удосконалення технологічних процесів виробництва тонкої гарячекатаної штаби забезпечує підвищення техніко-економічних показників, зниження поздовжньої і поперечної різнотовщинності штаб, отримання їх високої планшетні (площинності). На подібних станах в основному відсутня проблема поздовжньої різнотовщинності ($\delta h_{\text{п}} = 0,02 - 0,05$ мм). Однак при використанні для отримання штаб мірних проміжних розкатів, задні кінцеві ділянки штаб прокатують в клітях безперервної групи без заднього натягування і, отже, зі збільшенням товщини заднього кінця готової штаби, в порівнянні з товщиною, отриманої на основній довжині ($\delta h_{\text{п}} > 0,05$ мм).

Проблеми з усуненням (зменшенням) поздовжньої різнотовщинності штаб при відсутності ефективного спрямованого впливу на міжвалкового розчин і товщину штаби і в даний час існують на ШСГП з традиційним складом устаткування (чорнова і чистова група клітей). Зокрема, це в першу чергу відноситься до кінцевих потовщень, особливо на задньому кінці штаби, що у кожному разі прокатують при меншій температурі і при відсутності заднього натягування. Збільшення при цьому сили прокатування в порівнянні з силою на передньому кінці і зумовлює істотне прирощення товщини штаби.

Під час гарячого прокатування штаб із транзитною передачею товстих слябів зі слябінга на ШСГП (без Койлбокс) в чистовій групі безперервного стана всі технологічні та силові параметри змінюються від переднього кінця до заднього кінця штаби (рис. 2.4). Найбільша температура проміжного розкату має місце на ділянці 1-2. Причому на ділянці 1 температура розкату може бути дещо менше, ніж на ділянці 2 внаслідок більш інтенсивного охолодження торців сляба (розкату). Задній кінцева ділянка розкату (штаби) прокатують пізніше, ніж передній і тому температура металу на ділянці 3-4 буде істотно менше, ніж на ділянці 1-2. Така зміна температури обумовлює відповідну зміну сили P прокатування штаби при мінімальному значенні сили на ділянці 2 і при максимальному на ділянці 2.

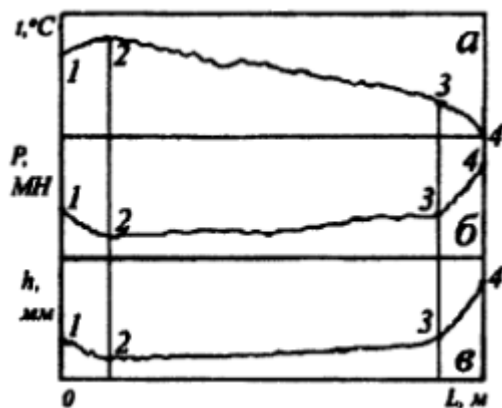


Рис. 2.4. Зміна температури металу (t), сили прокатування (P) і товщини штаби (h) по довжині штаби: 1 - 4 - характерні ділянки довжини штаб

Крім впливу температури зміни сили P в бік її збільшення сприяє відсутність переднього натягування на ділянці 1 і заднього натягування на ділянці 2. Ділянка 2-3 прокатують при наявності переднього і заднього натягувань штаби, що забезпечує деяке зниження сили прокатування в порівнянні з ділянками 1 і 4.

Збільшення товщини h штаби на ділянці 2-3 обумовлено зниженням температури розкату (штаби) до заднього кінця, а максимальна товщина штаби вище на ділянці 2.

2.3. Вплив технологічних параметрів на формування поздовжньої різнотовщинності штаб.

З викладеного вище матеріалу випливає, що під час гарячого прокатування штаб застосування додаткового обтиснення заднього ділянки штаби, прискорення валків в клітях чистової групи, використання ППП в лінію проміжного рольганга дозволяють дещо зменшити загальну величину поздовжньої різнотовщинності гарячекатаних штаб, однак, не усувають повністю кінцеві потовщення, особливо на задньому кінці штаби. Моделі (2.14) і (2.15) дозволяють оцінити вплив різних факторів на кінцеве потовщення штаби при різних видах збурень, отримати нові якісні та кількісні залежності зміни потовщення штаби на задній кінцевій ділянці, оцінити ефективність запропонованих технологічних рішень для підвищення точності штаби. При цьому кінцеве потовщення визначаємо за виразом

$$\delta h_n = h_4 - h_2,$$

де h_2 і h_4 - відповідно мінімальна (номінальна) товщина штаби на передньому кінці і максимальна товщина на задньому кінці штаби (рис. 1.3; 3.1 точки 2 і 4).

Для теоретичного аналізу впливу на кінцеве потовщення δh_n і енергосилові параметри прокатування розглянуті наступні технічні рішення, які можуть бути здійснені в технологічному процесі без помітних матеріальних витрат, в основному шляхом вдосконалення технологічного процесу конкретного ШСГП:

1. Застосування раціональної товщини проміжнорозкату для чистової групи клітей.
2. Зміна товщини проміжного розкату на кінцевих ділянках.
3. Відключення охолоджувача в клітях чистової групи при прокатуванні заднього ділянки штаби.
2. Застосування раціональних величин додаткових обтиснень ділянки заднього кінця розкату в клітях стана (крім останньої кліті).
5. Застосування калібрувальної кліті перед чистової групою клітей.
6. Регулювання зусилля гідровигина (врівноваження) робочих валків для зміни міжвалкового зазору і товщини штаби.

4. Застосування переднього натягування штаби в кліті №10 з метою впливу на параметри процесу прокатування.

8. Застосування технологічного мастила в останніх клітках стана при прокатуванні заднього ділянки штаби.

На широкоштабових станах холодного прокатування (ШСХП) формування товщини по довжині штаби обумовлено, крім впливу різнотовщинності гарячекатаного підкату, змінною швидкістю прокатування. У перехідних процесах (задача штаби в стан і випуск заднього кінця з кліті стана, прокатування ділянки шва) швидкість штаби істотно менше, ніж в сталому процесі. У зв'язку з цим при холодного прокатування штаб, особливо на чотирьохклетевих станах порулонной прокатування, основним завданням є розробка технічних рішень для компенсації негативного впливу на умови деформації металу збільшення коефіцієнта тертя і сили при невеликих швидкостях прокатування. Детальніше матеріал про формування товщини по довжині штаби при прокатуванні представлений нижче.

У роботах [35 - 54] представлена модель ітераційного розрахунку поздовжньої різнотовщинності штаб і результати розрахунків по визначенню впливу різних технологічних факторів на зміну величини потовщення заднього кінця штаб. Нижче представлено узагальнення досліджень впливу деяких збурень на прирощення товщини заднього кінця штаби при гарячому та холодному прокатуванні штаб.

2.4. Зміна товщини заднього кінця штаби

Вплив різних технологічних факторів на зміну товщини по довжині штаби докладно розглянуті в роботі [2]. Додаткові відомості з цього питання наведено в роботах [1, 9, 22, 23 та ін.]. Тут відзначимо загальні положення формування різнотовщинності штаби під час гарячого прокатування. Вираз (2.4) представимо наступним чином

$$\Delta P = \Phi(\Delta H; \delta h; \Delta \sigma_T; \Delta \sigma_i; \Delta t; \Delta f; \Delta R), \quad (2.11)$$

де ΔP - зміна сили прокатування по довжині штаби; ΔH , δh , $\Delta \sigma_T$ і т.д. - Зміна по довжині штаби відповідно вихідної товщини штаби, кінцевої товщини штаби, напруження течії металу, напруження натягування штаби, температури штаби, коефіцієнта тертя, радіусу валків).

Для недопущення поздовжньої різнотовщинності необхідно зберегти по довжині штаби параметр $\Delta P = 0$. Тоді, відповідно до виразами (2.5) і (2.14), отримаємо $\delta h_{\text{п}} = 0$. Однак у реальних умовах прокатування на безперервному стані (без прискорення обертання валків) змінюється (зменшується) від переднього кінця штаби до заднього температура проміжного розкату (рис. 2.5), тобто $\Delta t = t_{\text{п}} - t_3 > 0$ (де $t_{\text{п}}$ і t_3 – температура відповідно переднього і заднього кінців). Така зміна Δt призводить до збільшення напруження течії металу ($\Delta \sigma_T > 0$) і коефіцієнта тертя ($\Delta f > 0$), а, отже, збільшенню від кліті до кліті параметрів ΔH і $\delta h_{\text{п}}$.

Збільшення $\delta h_{\text{п}}$ в даній кліті ШСГП обумовлює збільшення вихідної товщини штаби на величину ΔH для подальшої кліті. Усе зазначене сприяє в підсумку збільшення сили та товщини штаби на ділянці заднього кінця штаби. Відсутність заднього натягування штаби ($\Delta \sigma_i = 0$) посилює вплив розглянутих вище факторів.

При прокатуванні на безперервному ШСГП величина поздовжньої різнотовщинності по клітям стана зменшується внаслідок зменшення градієнта температур по довжині штаби з 50 - 90 °С до 15 - 30 °С. Останнє обумовлено збільшенням по клітям частки складової Δt_d [вираз (1.3)] в загальному теплообміні в прокатуваній смузі за рахунок збільшення нормальних контактних напружень $p_{\text{ср}}$. Відповідно з експериментальними даними [2, 5] при відсутності регулювання міжвалкового зазору і після нагріву слябів в методичних печах максимальне збільшення на задньому кінці штаби в кліті №10 ШСГП 1680 становить $\delta h_{\text{п}} = 0,10 - 0,22$ мм проти $\delta h_{\text{п}}$

= 0,35 - 0,39 мм в кліті №6 (рис . 3.2). Довжина потовщених кінців становить 15 - 40 м.

Застосування додаткового обтиснення задніх кінців штаб в чистовій групі клітей ШСГП 1680 дозволило зменшити потовщення задніх кінців для штаб товщиною $h \leq 3,5$ мм до $\delta h_{\text{п}} = 0,1$ мм, а на більш товстих штабах повністю усунути с різнотовщинність [2] (додаткове обтиснення по продуктіметру становило в клітях (мм): 6й - 0,6; 7й - 0,45; 8й - 0,3; 9й-0,2).

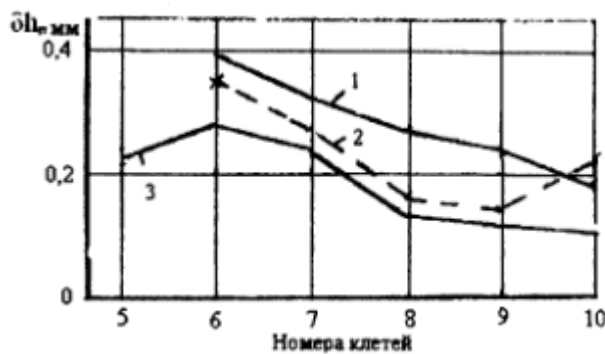


Рис. 2.5 Величина потовщень на задньому кінці штаби: 1 - 4x1400 мм; 2 - 2x1000 мм; 3 - 2x1200 мм [2, 5]

За результатами експериментальних досліджень отримана узагальнююча залежність максимальної поздовжньої різнотовщинності штаб на широкоштабових станах гарячого прокатування при різних технологічних параметрах [66]

$$\frac{\delta h_{\text{п}}}{h} = a_1 \frac{B}{h} + a_2, \%$$

де B і h - ширина і товщина штаби; a_1 і a_2 - коефіцієнти, що враховують специфіку стана:

	a_1	a_2
1680 меткомбината «Запорожсталь»	0,0185	-0,81
1700 Мариупольского меткомбината	0,0286	-3,07
1700 Карагандинского меткомбината (Россия)	0,0305	-2,3
2000 Новолипецкого меткомбината (Россия)	0,0198	-0,097

З представленої вище залежності випливає, що максимальна різнотовщинність штаб різко зростає зі зменшенням товщини і збільшенням ширини штаби. Так, зменшення штаби з $p = 2$ мм до $p = 1,2 - 1,5$ мм супроводжується збільшенням поздовжньої різнотовщинності на 25 - 30%, а

збільшення ширини штаби з $B = 1000$ мм до $B = 1500$ мм ($p = 2$ мм) викликає збільшення $\delta h_{\text{п}}$ всього на 5 - 7%.

В даний час для гарячого прокатування штаб використовують в чистових групах шестивалкові і чотирьохвалкові кліті. Шестивалкові кліті застосовують широко в Японії. Кліті оснащені гідравлічними натискними пристроями, що забезпечує оперативну зміну міжвалкового зазору і товщини штаби. За результатами замірів штаб з товщиною 2 - 2,69 мм, прокатаних в шестивалкових чистових клітях, допуск по товщині ± 50 мкм (0,05 мм) витримувався на 99,5% довжини штаби в рулоні, тоді як штаба, прокатана в чотирьохвалкових клітях мала такий самий допуск на 95,7% довжини. При допуску ± 30 мкм (0,03 мм) ці показники знизилися до 93,7 і 88,5% відповідно [37].

При прокатуванні штаб в чотирьохвалкових клітях з гвинтовими натискними пристроями зазначені показники помітно гірше, що пов'язано з меншою швидкістю регулювання міжвалкового зазору.

2.5. Вплив товщини проміжного розкату на потовщення заднього кінця штаби

Працездатність запропонованої моделі розрахунку поздовжньої різнотовщинності оцінювали за результатами гарячого прокатування штаб 2×1250 мм на десятиклетевом ШСГП 1680 (1700) з проміжного розкату перед кліттю №5 товщиною $H_p = 20 - 28$ мм. Товщина сляба $H = 165$ мм, довжина $L_{\text{сл}} = 4,5$ м, швидкість прокатування в кліті №10 $V_{10} \sim 9,0$ м/с. Додаткове обтиснення заднього кінця штаби відсутня, заднє і переднє напруження межклетевого натягування рівні $\sigma_1 = \sigma_0 = 15$ Н/мм², модуль жорсткості кліті прийнятий рівним $M_k = 4,5$ МН/мм. Розрахунки виконані з використанням моделей з розділів 1 і 2.

Визначення величини кінцевого потовщення на задньому кінці штаби виконані по рівняннях (2.14), (2.15) [23, 35-44] щодо мінімальної товщини штаби на ділянці (2) (рис. 3.1):

$$\delta h_{\Pi i} = \frac{P_i - P_2}{M_{\text{ка}} + \delta M_{\Pi}}; \quad \delta M_{\Pi} = M_{\Pi i} - M_{\Pi 2}, \quad (2.12)$$

$$M_{\Pi i} = \frac{\varphi_i \cdot P_i}{\Delta h_i}; \quad \varphi_i = (0,57 + 0,62\varepsilon_i) \left[1 + 0,023 \left(\frac{R_i}{H_i} \right)^{0,5} \right], \quad (2.13)$$

де P_1 і P_2 - сила прокатування на першому ділянці і на ділянці 2; $M_{\Pi 1}$ і $M_{\Pi 2}$ - модулі жорсткості штаби на першій ділянці і на ділянці 2; R_i - Радіус валка; H_i - вихідна товщина штаби перед кліттю; ε_i - Відносне обтиснення; Δh_i - абсолютне обтиснення; φ_i - Коефіцієнт.

Розрахунок за формулами (2.12) і (2.13) виконували методом ітерацій. У першій ітерації розраховують величину δh_i за даними першого розрахунку P_1, P_2, M_{Π} . Потім визначають h_1'' $\Delta h_2''$ і інші параметри, в т.ч. і P_1'' , за якими розраховують значення $\delta h_i''$ у другій ітерації. Розрахунки δh_i за виразом (2.12) виконують до тих пір, поки різниця між сусідніми значеннями δh_i складе $\Delta = \pm 0,003$. При $\Delta = 0$ розрахункова система геометричний вогнище деформації - сила прокатування приходить в рівновагу, а при $\Delta = \pm 0,003$ система близька до рівноваги.

Розчини між валками клітей встановлені попередньо для отримання товщин штаб, відповідним даними для ділянки 2 (рис. 3.1) (мінімальна, базова товщина). Зазначені на ділянці 2 (табл. 2.1) розчини не змінюються в процесі прокатування штаби і відсутня додаткове обтиснення потовщеного заднього кінця в точці 2. Розрахункові величини середньої температури ϱ , в осередку деформації, сила прокатування P_i товщина h_i і прирощення товщини δh_{Π} штаби на ділянках 1, 3, 4 (рис. 3.1) представлені в табл. 2.1 і вони адекватні практичним даним і відповідають логіці технологічного процесу.

Як випливає з даних табл. 2.1, при деформації металу у всіх клітях товщина штаби на ділянках 1, 3, 4 виявилася вище номінальної (базової) товщини на ділянці 2. Збільшення товщини на ділянці 1 обумовлено відсутністю переднього натягування кінця штаби, збільшення товщини

штаби на ділянці 2-3 пов'язано з пониженням температури на 66 °С (кліть 5), а на ділянці 3-4 подальшим зниженням температури і відсутністю заднього натягування. У міру зменшення товщини прокатування штаби градієнт температур між ділянками 3 і 2 і в кліті №10 зменшується до 18 °С. Відповідно з пониженням температури сила прокатування зростає від ділянки 2 штаби до ділянки 4 у всіх клітях. При даному режимі деформації найбільша різниця у величинах сил (2,94 МН) має місце в кліті №6. У цій же кліті штаба має максимальне потовщення на ділянці 4 ($\delta h_4 = 0,608$ мм). У наступних клітях відбувається зменшення приросту товщини штаби і в кліті №10 величина кінцевого потовщення становить $\delta h_{10} = 0,207$ мм, що близько до досвідченим даним [2].

У табл. 2.1 як приклад представлені розрахункові параметри прокатування штаби в клітях №5 - 10.

Таблиця 2.1. Параметри прокатування і прирощення товщини при прокатуванні штаби 2x1250 мм з проміжного розкату з $H = 20$ мм (Ст. 08кп)

№ кліти	t_{cp} , (°C) на участках				P_i (МН) на участках			
	1	2	3	4	1	2	3	4
5	957	947	881	873	16,76	16,42	18,45	18,73
6	944	934	878	871	17,91	17,18	19,38	20,12
7	933	922	876	872	13,97	13,35	15,0	15,64
8	919	96	872	870	12,10	11,62	12,79	13,27
9	901	887	861	862	9,92	9,54	10,35	10,7
10	873	858	840	843	4,87	4,62	5,24	5,54

Продовження таблиці 2.1

№ клети	h_i (мм) на участках				δh_n (мм) на участках			
	1	2	3	4	1	2	3	4
5	12,578	12,50	19,939	12,992	0,078	0	0,438	0,493
6	7,422	7,260	7,731	7,868	0,162	0	0,471	0,608
7	4,893	4,70	5,058	5,178	0,138	0	0,357	0,479
8	3,298	3,190	3,451	3,547	0,109	0	0,262	0,357
9	2,404	2,32	2,511	2,568	0,086	0	0,190	0,267
10	2,061	2,0	2,146	2,207	0,060	0	0,147	0,207

Нижче представлений аналіз впливу різних технологічних параметрів на зміну величини кінцевого потовщення на ділянці 4 штаби.

Теоретичний аналіз з використанням наведених вище моделей [див. рівняння (2.12) і (2.13) та ін.] виконаний стосовно до прокатуванні штаб 2x1250 мм. Товщину проміжного розкату, що виходить з останньої кліті чорнової групи змінювали в межах $H_p = 18-28$ мм. Температуру перед чорновий кліттю брали рівний $t = 1165$ °С.

Величини обтиснень в клітях №5 - 10 чистової групи змінювали відповідно до умовою рівності сили P прокатування в клітях №5, 6, $P < P_{\text{доп}}$ і відповідного зменшення сил до останньої кліті ($P_{\text{доп}} = 20$ МН - що допускається сила на валки).

З рис. 2.6, а випливає, що температура металу на ділянці 4 (рис. 3.1) по клітям чистової групи істотно збільшується з підвищенням товщини розкату, що виходить з останньої кліті чорнової групи. Так, при зміні H_p товщини розкату з $H_p = 20$ мм до $H_p = 28$ мм температура штаби в кліті №5 зростає з $t = 904$ °С до $t = 960$ °С, тобто на 6,2%. У меншій мірі (на - 5,1%) спостерігається збільшення температури металу в кліті №10. При прокатуванні штаби 2x1250 мм з проміжного розкату $H_p = 23$ мм його температура відповідно зростає на $\sim 2,9\%$ (кліть №5) і $\sim 2,4\%$ (кліть №10).

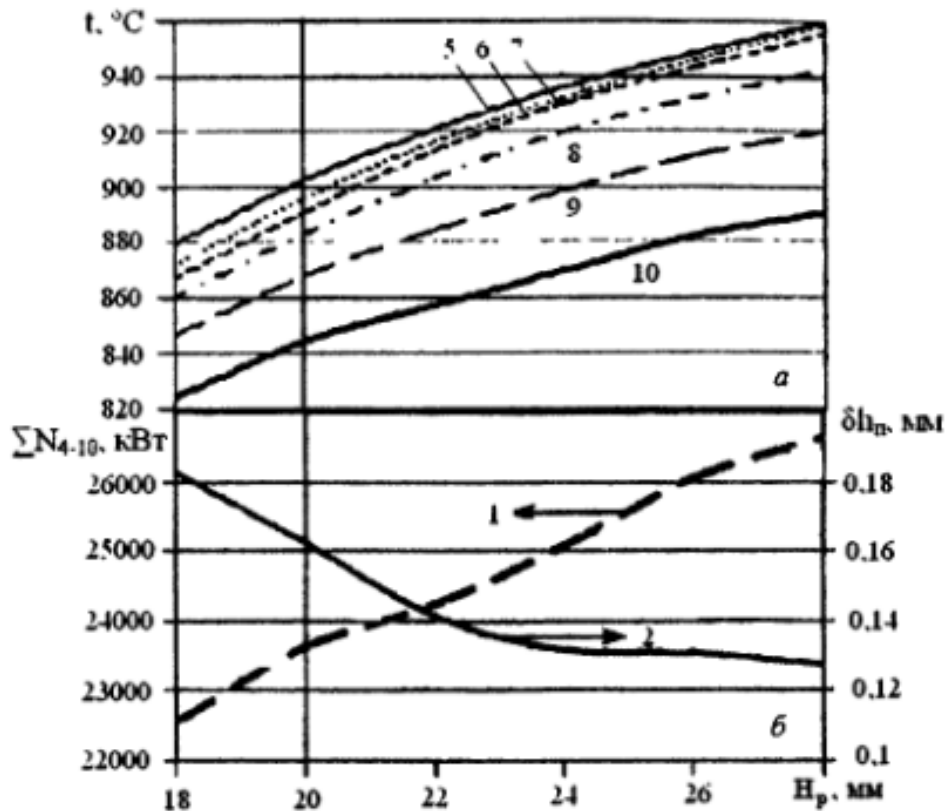


Рис. 2.6. Зміна середньої температури в осередку деформації ділянки 4 (а), сумарної потужності в клітях №4 - 10 (1) і кінцевого потовщення (2) (б) при прокатуванні штаби 2x1250 мм із сталі 08пс в залежності від товщини проміжного розкату. (Для «а» - цифри у кривих номери клітей).

Збільшення товщини проміжного розкату, незважаючи на збільшення температури штаби, викликає істотне збільшення сумарної потужності прокатування в клітях №№4 - 10. Так, при використанні проміжного розкату з $H_p = 23$ мм в порівнянні з розкатом $H_p = 20$ мм сумарна потужність прокатування зростає на $\sim 3,9\%$ (рис. 2.6, б). Кінцеве потовщення $\delta h_{п}$ (задній кінець на ділянці 4, рис. 3.1) зі збільшенням товщини проміжного розкату зменшується з $\delta h_{п} = 0,162$ мм ($H_p = 20$ мм) до $\delta h_{п} = 0,128$ мм ($H_p = 28$ мм) (рис. 2.6.б). Однак найбільш інтенсивне зниження $\delta h_{п}$ спостерігається при $H_p < 23$ мм. Для $H_p = 23$ мм кінцеве потовщення зменшується всього до $\delta h_{п} = 0,137$ мм, тобто всього на $\sim 15,3\%$ в порівнянні з товщиною $H_p = 20$ мм.

Очевидно, такий несуттєвий ефект зменшення $\delta h_{\text{п}}$ не покриває збільшення енерговитрат при прокатуванні штаб з розкату $H_p = 23$ мм.

Більш ефективним технічним рішенням, що забезпечує помітне зниження товщини кінцевого ділянки штаби при незначному збільшенні енерговитрат є застосування проміжного розкату змінною по довжині товщиною. Різні умови деформації розкату на різних ділянках довжини забезпечують відповідну зміну температури, енергосилових параметрів прокатування і пружних деформацій кліті, а, отже, і товщини штаби. Змінну товщину проміжного розкату можна отримати шляхом прокатування розкату на клин в останній кліті чорнової групи.

Номінальними для порівняння прийняті умови прокатування штаби з проміжного розкату, з постійною по довжині товщиною, рівній $H_p = 20$ мм. На підставі розрахунків встановлено, що завдяки збільшенню температури більш товстого кінця розкату на ділянці 4 ($H_{\text{РУ}} = 22$ мм), потовщення заднього кінця готової штаби зменшується з $\delta h_{\text{п}} = 0,162$ мм ($H_p = 20$ мм) до $\delta h_{\text{п}} = 0,11$ мм ($H_p = 20$ мм), тобто на $\sim 32,3\%$. [7, 19, 32]

У практиці виробництва широкоштабової стали для зменшення кінцевого потовщення в клітях чистової групи ШСГП застосовують додаткове обтиснення ДБ ділянки 4 штаби (рис. 3.1). Для умов прокатування на ШСГП 1680 Ю.В. Коновалов [2] рекомендував наступний режим додаткового обтиснення заднього кінця ΔS (по продуктіметру, мм) в клітях стана: №6 - 0,6; №7 - 0,45; №8 - 0,3; №9 - 0,2. Сумарне додаткове обтиснення по продуктіметру становить

$\Sigma \Delta S = 1,55$ мм. Дійсне додаткове обтиснення по продуктіметру при прокатуванні штаби 2×1250 мм одно $\Sigma \Delta S_{5-9} = 1,2 - 1,35$ мм. При цьому, розрахунковий модуль жорсткості штаби по клітям №5 - 9 змінюється в межах $M_{\text{п}} \sim 2,0 - 10,0$ МН/мм, а коефіцієнт передачі обтиснення до штаби до $k_s \sim 1,9 - 4,0$. Для таких умов деформації ділянку 4 штаби отримує фактичне сумарне додаткове обтиснення безпосередньо в межах $\Sigma \Delta h_{\text{д}} (5-9) = 0,4 - 0,5$ мм, а кінцеве потовщення на ділянці 4 після кліті №10, у відповідність з

розрахунками, виявилось рівним $\delta h_{\text{п}} = 0,162$ мм (рис. 2.3, а) проти $\delta h_{\text{п}} = 0,2$ мм при прокатуванні ділянки 4 з $\Sigma \Delta h_{\text{д}} (5-9) = 0$. Тобто вживане на стані сумарне додаткове обтиснення ділянки 4 дозволяє зменшити величину кінцевого потовщення готової штаби на 0,038 мм або на 19%. Як бачимо, ступінь зменшення величини кінцевого потовщення істотна, але очевидно, недостатня.

З розрахунків випливає ($\Delta t_5 = 60$ °С), що параметр $\delta h_{\text{п}}$ для всіх клітей змінюється лінійно залежно від сумарного фактичного додаткового обтиснення ділянки 4 штаби. При додатковому сумарному обтисненні ділянки 4 в клітях №5 - 9 рівному $\Sigma \Delta h_{\text{д}} (5-9) = 1,0$ мм кінцеве потовщення на ділянці 4 зменшується в кліті №5 з $\delta h_{\text{п}} - 0,48$ мм ($\Sigma \Delta h_{\text{д}} (5-9) = 0$) до $\delta h_{\text{п}} = 0,3$ мм, а в кліті №10 це зменшення, відповідно, становить з $\delta h_{\text{п}} - 0,2$ мм до $\delta h_{\text{п}} - 0,11$ мм (рис. 2.7). Таке зменшення $\delta h_{\text{п}}$ істотно і товщина штаби по всій довжині відповідає нормативним допускам, але сама величина $\delta h_{\text{п}} - 0,11$ мм значно перевищує величини $\delta h_{\text{п}}$ на основній довжині штаби, де $\delta h_{\text{п}} = 0,03 - 0,05$ мм.

Для повного усунення на готовій смузі кінцевого потовщення на ділянці 4 ($\delta h_{\text{п}} = 0$) необхідно додатково деформувати цю ділянку на $\Sigma \Delta h_{\text{д}} (5-9) \sim 2,3$ мм, що в 5 разів більше, ніж при серійної технології. При такому режимі деформації ділянки 4 штаби величини додаткових обтиснень в останніх клітях стана будуть сумірні з основними обтисненнями, що викличе відповідне збільшення енергосилових параметрів. Однак, робоча швидкість переміщення натискних гвинтів під навантаженням складає всього $V_{\text{н}} = 0,07$ мм/с (при холостому ході = 0,13 мм/с). Ця швидкість недостатня для необхідної зміни міжвалкового зазору з метою додаткового обтиснення заднього кінця штаби. Так, для переміщення натискних гвинтів в перших клітях чистової групи на $\Delta S = 1,0$ мм потрібно $\tau = \Delta S / V_{\text{н}} = 1,0 / 0,07 = 14,3$ с, що істотно більше часу прокатування ділянки штаби в зазначених клітях.

На кінцеве потовщення ділянки 4 істотний вплив робить градієнт температур Δt_5 по довжині проміжного розкату. При зменшенні градієнта Δt_5

з $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ товщина ділянки 4 при відсутності додаткового обтиснення ($\Sigma\Delta h_d(5-9) = 0$) зменшується з $\delta h_{\text{п}} = 0,2\text{ мм}$ до $\delta h_{\text{п}} - 0,03\text{ мм}$. При $\Delta t_5 = 30\text{ }^{\circ}\text{C}$ і $\Sigma\Delta h_d(5-9) = 0$ товщина ділянки 4 штаби на $\delta h_{\text{п}} = 0,11\text{ мм}$ перевищує товщину штаби на ділянці 2 (рис. 2.7, б). Застосування додаткового обтиснення в межах $\Sigma\Delta h_d(5-9) = 0,45\text{ мм}$ (існуючий режим) сприяє зменшенню кінцевого потовщення на $0,05\text{ мм}$.

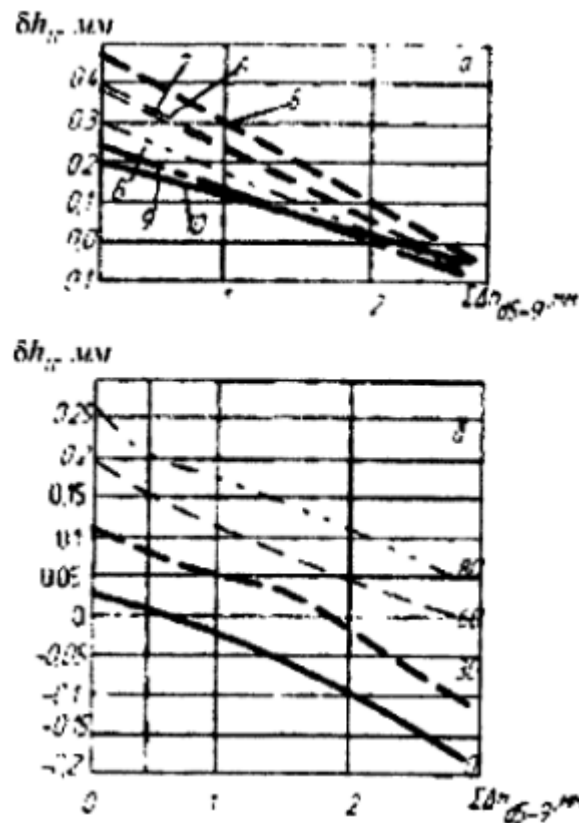


Рис. 2.7. Зміна кінцевого потовщення на ділянці 4 заднього кінця залежно від сумарного додаткового фактичного обтиснення по клітям стана (а) і параметра Δt_5 (б) (числа у кривих) для кліті №10. Проміжний розкат $H_p = 20\text{ мм}$, штаба $2,0 \times 1250\text{ мм}$, пряма (транзитна) прокатування слябів довжиною $L_{\text{сл}} = 4,5\text{ м}$.

При $\Delta t_5 = 0$ задній кінець штаби (ділянка 4) можна прокатувати без додаткового обтиснення, а при $\Delta t_5 = 30\text{ }^{\circ}\text{C}$ при прокатуванні штаби необхідно застосувати додаткове обтиснення ділянки 4 на задньому кінці штаби. При існуючому режимі прокатування з $\Delta t_5 = 30\text{ }^{\circ}\text{C}$ (прокатування із застосуванням

Койлбокс) відповідно до розрахунків, прирощення товщини штаби на ділянці 4 становить $\delta h_{\text{п}} \sim 0,07$ мм. У практичних умовах роботи стана з Койлбокс при прокатуванні тонких штаб з слябів довжиною $L = 9 - 9,5$ м величина кінцевого потовщення досягає $\delta h_{\text{п}} = 0,12 - 0,15$ мм, внаслідок збільшення градієнта температур по довжині проміжного розкату.

Існуюче сумарне у всіх клітках додаткове обтиснення заднього кінця (ділянка 4) в межах $\Sigma \Delta h_{\text{д}} (5-9) = 0,4 - 0,5$ мм не забезпечує усунення кінцевого потовщення при градієнті температур Δt_5 по довжині проміжного розкату рівному і більше 30 °С. Збільшення додаткового обтиснення в клітках чистової групи можна здійснювати лише при оснащенні кліті подібних станів гідравлічними натискними пристроями.

У зв'язку з актуальністю підвищення точності по довжині гарячекатаної штаби, нижче пропонуються інші технічні рішення, які можуть бути використані в практичних умовах на широкоштабових станах.

3. ЗАХОДИ ДЛЯ ЗМЕНШЕННЯ ПОЗДОВЖНЬОЇ РІЗНОТОВЩИННОСТІ.

При прокатуванні штабової сталі наявність різниці температур Δt_5 по довжині проміжного розкату (менша температура на задньому кінці розкату) і відсутність натягування заднього кінця штаби у всіх клітках чистової групи завжди є причиною утворення кінцевого потовщення на довжині 20 - 30 м готової штаби. Це кінцеве потовщення в реальних умовах існує при прокатуванні штаб в чистовій групі з прискоренням валків, і при використанні Койлбокс, і при додатковому обтисненні заднього кінця гвинтовими натискними пристроями.

Основну роль у формуванні величини кінцевого потовщення відіграє відсутність заднього натягування штаби, внаслідок чого відбувається збільшення сили прокатування на ділянці 4, збільшення міжвалкового зазору і товщини штаби. Таким чином, відсутність заднього натягування кінця штаби надає локальне вплив на товщину ділянки 4. Очевидно, для компенсації збільшення сили прокатування на ділянці 4 внаслідок відсутності заднього натягування, необхідно використовувати відповідні технічні рішення. До таких рішень можна віднести:

1) збільшення температури заднього кінця проміжного розкату на довжині 4 - 5 м шляхом відключення води гідрозбиву окалини в чистовому окаліноломачі ;

2) прокатування заднього кінця штаби при короткочасному зменшенні кількості води, що подається на валки клітей чистової групи;

3) при прокатуванні заднього кінця штаби зменшувати силу противовигина (додаткового вигину) робочих валків в проміжних клітках чистової групи;

4) застосування різнотовщинності по довжині проміжного розкату з більшою товщиною заднього кінця;

5) зменшення коефіцієнта тертя при прокатуванні заднього кінця штаби в останніх клітках чистової групи шляхом подачі на валки технологічної мастила.

Розглянемо деякі пропозиції щодо способів усунення задніх кінцевих потовщень штаб під час гарячого прокатування штаб. Ю.В. Коновалов у своїх роботах розглядає такі способи:

- Забезпечення рівності швидкості входу розкату в першу кліть чистової групи і швидкості виходу його з останньої кліті чорнової групи сталі, що зменшує градієнт температур по довжині розкату. Однак реалізація цього способу можлива при збільшенні швидкості прокатування в чистовій кліті в 1,5 - 2,0 рази, що на станах традиційної побудови неможливо;

- Диференційований по довжині нагрів слябів, що забезпечує негативний градієнт температур, при якому задній кінець проміжного розкату має температуру на 20 - 40 °С вище температур переднього кінця. Цей спосіб не може бути реалізований при транзитній (прямий) прокатуванні слябів на ШСГП без нагріву слябів в методичних печах;

- Скорочення подачі води гідрозбиву на задній кінець розкату (перед чистовий групою клітей). У цьому випадку температура розкату на задньому кінці при швидкості $V_{зк} = 1,5 - 1,8$ м/с збільшується на 5 - 7 °С;

- Застосування раціонального режиму деформації в чистовій групі клітей зі зменшенням обтиснень в останніх трьох-чотирьох клітках і збільшенням у попередніх. У цьому випадку збільшення температури заднього кінця може скласти 5 - 7 °С;

- Прискорення валків безперервної групи клітей з штабою після захоплення переднього кінця штаби моталками;

- Застосування додаткового обтиснення в чистовій групі клітей найбільш потовщеного заднього кінцевого ділянки штаби;

- Підвищення (і регулювання) жорсткості прокатної кліті шляхом установки між подушками опорних валків потужних гідроциліндрів (гідророзпор кліті);

- Використання гідравлічних пристроїв противовигина валків. У цьому способі зменшується (усувається повністю) тиск масла в гідросистемі при проходженні штаби через кліті чистової групи.

Останні три способи дозволяють істотно зменшити потовщення на задньому кінці штаби.

В.П. Полухін [6] пропонує прокатувати розкат з прискоренням валків в останній кліті чорнової групи, що забезпечує зниження різниці температур між переднім і заднім кінцями проміжного розкату, а також збільшує середню температуру розкату.

Значний ефект вирівнювання температури по довжині проміжного розкату досягається застосуванням перед чистовий групою клітей Койлбокс (проміжного перемотувального пристрою - ППП) [28].

У всіх способах відсутність натягувань переднього і заднього кінців робить істотний вплив на їх потовщення.

Деякі способи зниження поздовжньої різнотовщинності гарячекатаних штаб докладніше розглянуті нижче.

3.1 Додаткове обтиснення задньої кінцевої ділянки штаби

Цей метод застосовують на неперервних станах гарячого прокатування з використанням автоматичного регулювання товщини (САРТ). Корекцію обтиснення заднього кінця штаби виконують у клітях стана за жорсткою програмою на величину $\Delta S_i = 0,2 - 0,6$ мм (по продуктіметру) [2, 39]. Додаткове обтиснення задніх кінцевих ділянок штаб на ШСГД 2000 НЛМК (Новолипецький металургійний комбінат) забезпечує зниження товщини задніх кінців штаб ($h = 2 - 9$ мм) з $\delta h_{\text{п}} = 0,2 - 0,24$ мм до $\delta h_{\text{п}} = 0,06 - 0,16$ мм [39]. На ШСГП 1700 (Маріупольський меткомбінат) застосування регулювання міжвалкового зазору на задніх кінцевих ділянках дозволило зменшити подовжню різнотовщинність з $\delta h_{\text{п}} = 0,17 - 0,50$ мм до $\delta h_{\text{п}} = 0,09 - 0,28$ мм, а на ШСГП 1680 меткомбінату «Запоріжсталь» величину $\delta h_{\text{п}}$ зменшили з $\delta h_{\text{п}} = 0,14 - 0,26$ мм до $\delta h_{\text{п}} = 0,08 - 0,21$ мм.

Очевидно, сумарне додаткове обтиснення задніх ділянок штаби виявилось недостатнім для компенсації негативного впливу відсутності заднього натягування.

Недостатня ефективність регулювання міжвалкового зазору натискними гвинтами обумовлена невеликою швидкістю їх переміщення (на ШСГП 1680 швидкість переміщення натискних гвинтів клітей чистової групи становить $V_n = 0,13$ мм/с, а під навантаженням (з штабою) всього $V_n \sim 0,07$ мм/с). При наявності в клітях стана гвинтових натискних пристроїв включення їх на зміну міжвалкового розчину необхідно здійснювати в момент коли перед першою кліттю чистової групи залишається $L_k = 8 - 10$ м заднього ділянки проміжного розкату. При швидкості заднього кінця розкату $v_p \sim 1,0 - 1,5$ м/с переміщення натискних гвинтів кліті №5 ШСГП 1680 складе:

$$t_n = L_k / V_p = (8 - 10) / (1,0 - 1,5) = 5,3 - 10 \text{ с};$$

$$\Delta S_s = V_n \cdot t_n = 0,07 \cdot (5,3 - 10) \approx 0,4 - 0,7 \text{ мм}.$$

Включення натискних пристроїв подальших клітей виконується одночасно або каскадним методом (із затримкою в часі) при автоматичному регулюванні швидкісного режиму прокатування. При такому регулюванні міжвалкового розчину можливе зменшення товщини штаби поблизу ділянки 3 до мінусових значень щодо номінальної, але слід очікувати і суттєве зменшення товщини кінцевого ділянки 4 (рис 3.1).

3.2 Регулювання міжвалкового зазору гідророзпором

У цьому пристрої передбачається обладнання подушок нижнього опорного валка гідроциліндрами високого тиску масла, плунжери яких здійснюють тиск на подушки верхнього опорного валка з силою $Q = (0,5 - 0,12) P$ [2, 40]. При цьому сумарне навантаження на стійки станини становить

$$P_Q = P + Q,$$

де P і Q - відповідно сила прокатування і додаткова сила від гідророзпору.

У процесі прокатування зміна сили Q дозволяє регулювати міжвалковий зазор за рахунок зміни пружних деформацій стійок станини. Існують різні схеми зміни сили Q у процесі прокатування штаби. Наприклад, в сталому процесі прокатування штаби витримують $Q = \text{const}$, а перед входом заднього кінця розкату в першу кліть чистової групи силу Q зменшують, що забезпечує додаткове обтиснення штаби на ділянці 3-4 (рис. 3.1). Однак додаткове обтиснення штаби повинно супроводжуватися одночасно регулюванням швидкісного режиму. Велике додаткове обтиснення (будь-яким способом) в першій кліті чистової групи небажано, тому це призводить до зниження температури стоншення штаби. Тому гідророзпором необхідно оснащувати кілька клітей стана.

Можливий і інший режим гідросистеми розпору кліті. Наприклад, при прокаті ділянки 2 (рис. 3.1) до кліті докладено максимальне зусилля Q , а у міру проходження штаби крізь стан додаткове зусилля Q знижують пропорційно збільшенню товщини штаби на ділянках 2 - 3 і 3 - 4 (рис. 3.1). На ділянці 4 можливо $Q = 0$. Поступове зниження зусилля Q , а, отже, і сумарної сили P_Q , забезпечує зменшення пружної деформації стійок кліті, фактичного міжвалкового зазору і, разом з цим, товщини і поздовжньої різнотовщинності δh_n дільниці 2-4 штаби.

Аналогічний ефект досягається при регулюванні по довжині штаби сили противовигина робочих валків (див. нижче).

3.3 Прокатування штаб на широкоштабовому стані з прискоренням

У зв'язку з наявністю температурного клину Δt по довжині проміжного розкату, що виходить з чорнової групи клітей відбувається потовщення заднього кінця готової штаби (без ППП). За даними [2], на стані 1700 Карагандинського меткомбінату при прокатуванні слябів масою 12 - 18 т. І $\Delta t \geq 60$ °С максимальна поздовжня різнотовщинність готової штаби сягає $\delta h_n = 0,50$ мм. Одним з радикальних технологічних способів зниження товщини заднього кінця готової штаби є прокатування штаби з прискоренням

після захоплення моталкою її переднього кінця, який з'явився на початку 60-их років двадцятого сторіччя [2, 4, 37, 41, 42]. Для вирівнювання температури по довжині штаби в чистовій групі клітей в залежності від товщини штаби необхідні величини прискорень в межах від $a = 0,03 - 0,12 \text{ м/с}^2$ ($h < 2,0 \text{ мм}$) до $a = 0,01 - 0,03 \text{ м/с}^2$ ($h = 5 - 16 \text{ мм}$).

При прокатуванні хвостового ділянки штаби довжиною $L_y = 100 - 250 \text{ м}$ з прискоренням одночасно відбуваються такі процеси:

- Втрати тепла штабою внаслідок тепловипромінювання, теплообміну і конвекції зменшуються зі збільшенням швидкості прокатування;

- Збільшення швидкості деформації металу, підвищення напруження течії металу і нормального контактного напруження;

- Збільшення роботи пластичної деформації за рахунок збільшення швидкості прокатування і, разом з цим, виділення додаткового тепла, розігріву штаби та зменшення напруження течії металу та середнього нормального контактного напруження;

- Зменшення коефіцієнта тертя внаслідок збільшення швидкості прокатування і температури штаби.

Сукупність впливу зазначених факторів при достатньому прискоренні «а» забезпечує вирівнювання температури і товщини по довжині штаби.

Так, при прокатуванні штаб $2,7 \times 1000 \text{ мм}$ на Карагандинському меткомбінаті при прокатуванні без прискорення (1) і з прискоренням (2) $a = 0,066 \text{ м/с}^2$ штаби отримали наступні дані при початковій швидкості $V_0 = 7,52 \text{ м/с}$ [2]:

Режим прокатки	$t_n, \text{ }^\circ\text{C}$	$t_s, \text{ }^\circ\text{C}$	$\Delta t, \text{ }^\circ\text{C}$	$L, \text{ м}$	$L_y, \text{ м}$
1	858	828	30	440	-
2	852	857	-5	430	230

Тут t_n і t_3 - температура відповідно переднього і заднього кінців штаби після прокатування; Δt - перепад температур по довжині готової штаби; L і L_y - відповідно загальна довжина штаби і довжина штаби, прокатої з прискоренням.

У загальному випадку розрахунок прискорення виконують за формулою:

$$a = (v_i^2 - v_0^2) / L_y. \quad (3.1)$$

Для умов ШСГП 1 700 Карагандинського меткомбінату необхідне прискорення для отримання $\Delta t = 0$ визначається виразом [2]

$$a = \frac{k_{T.C} \cdot \Delta t (2v_0 + k_{T.C} \cdot \Delta t)}{2L_y}, \quad (3.2)$$

де V_0 - початкова швидкість штаби до початку прискорення (м/с); $K_{T.C}$ - температурно-швидкісний коефіцієнт, який характеризує зміну швидкості останньої кліті стана, необхідне для збільшення температури кінця прокатування на 1 градус [$K_{T.C} = 0,057$ (м/с) / град.].

Позитивний ефект в стабілізації температури штаби після прокатування і змотування зазначається також у роботі [49].

На підставі експериментальних досліджень автори [41] для отримання градієнта температур $\Delta t = 0$ на готовій смузі, пропонують наступні вирази для розрахунку швидкості прокатування і-ї ділянки довжини штаби:

ШСГП 1700 Карагандинського і Маріупольського меткомбінатів:

$$v_i = \frac{187}{187 / v_0 - h \cdot \Delta t_{II} \cdot 10^{-3}},$$

$$\Delta t_{II} = 0,649(t_r - t_x); \quad (3.3)$$

ШСГП 1680 меткомбінату «Запоріжсталь»:

$$v_i = \frac{265}{265 / v_0 - h \cdot \Delta t_{II} \cdot 10^{-3}},$$

$$\Delta t_{II} = 0,346(t_r - t_x);$$

48

(3.4)

ШСГП 2000 Новолипецького меткомбінату:

$$v_i = \frac{223}{223 / v_0 - h \cdot \Delta t_{II} \cdot 10^{-3}},$$

$$\Delta t_{II} = 0,654(t_r - t_x),$$

(3.5)

Де $v_i = v_0 + \Delta v_i$ – швидкість прокатування 1-го ділянки по довжині штаби, м / хв; V_0 - заправна швидкість (швидкість прокатування головного ділянки штаби), м / хв; h - товщина готової штаби, мм; ΔV_i - зміна швидкості прокатування і-ї ділянки штаби, необхідне для підвищення його температури на ΔV_i , град-м / хв; t_k і t_x - температура головного і хвостового ділянок розкату перед ножицями безперервної групи.

З виразів (3.3) - (3.5) випливає, що зі збільшенням початкової швидкості V_0 , товщини штаби h і градієнта температур Δt_{II} швидкість прокатування заднього кінця штаби для отримання $\Delta t = 0$ в останній кліті необхідно збільшувати.

На рис. 3.1 представлені дані досліджень прокатування штаби 1,5x1050 мм на ШСГП 2000 з прискоренням $a \sim 0,15$ м/с² [4]. Як випливає з рис. 3.1, на ділянках I і VI товщина штаби значно вище номінальної, що обумовлено відсутністю переднього і заднього натягувань штаби. На ділянці II мається провал товщини, пов'язаний з підвищеною температурою торця сляба (нагрівання слябів в печах). На ділянці III товщина близька до

номінальної (прокатування без прискорення валків стана). Після захоплення штаби моталкою починається прискорення стана (ділянка IV). На ділянці V діє система автоматичного обтиснення кінця штаби в клітках №6 - 9 після виходу розкату з окалиноломача чистової групи.

З рис. 3.1 випливає, що при даному, очевидно, великому прискоренні середній частині довжини, різнотовщинність штаби становить $\delta h_{\text{п}} = 0,10$ мм. На передньому і задньому кінцях довжиною 15 - 35 м мають місце суттєві потовщення штаби в межах $\delta h_{\text{п}} = 0,3 - 0,35$ мм незважаючи на додатковий підтиск штаби.

Про позитивний вплив прискорення стана на товщину по довжині штаби наголошується в роботах [2, 34], але і в цих дослідженнях встановлено наявність потовщень задніх кінців штаб.

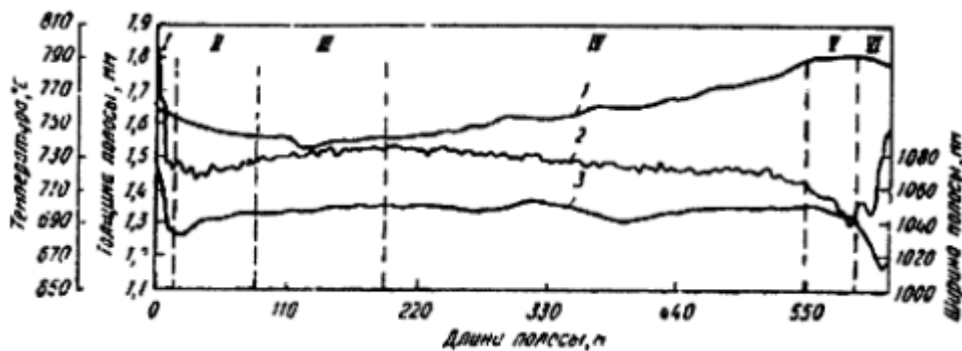


Рис. 3.1. Зміна температури (1), товщини (2) і ширини (3) штаби по довжині рулону (сталь Ст. ЗКП 1,5x1050 мм, маса слябів $G = 6,5 - 7,5$ т)

Після 1995 року в технологічному процесі прокатування штаб на ШСГП, в тому числі і на ШГСП 1680, відбулися істотні зміни, що не могло не позначитися на зміні товщини по довжині штаби. Так, наприклад, на ШГСП 1680 застосували наступні нововведення:

- Застосували транзитну (пряму) прокатування слябів в клітках ШСГП, що кілька розширило діапазон початкових температур початку прокатування і істотно скоротили витрату газу для нагріву слябів;

- Застосували прокатування зливків низьковуглецевої сталі на слябінгу донної частиною (з більшою товщиною і запасом теплової енергії), що виключає забурювання розкату (штаби) в клітках ШСГП, що зумовило появу вихідного градієнта температур по довжині сляба перед чорновим окалиноломачем в межах 10 - 20 °С (головним чином з меншою температурою на задньому кінці сляба);

- Збільшення товщини сляба з $H = 160$ мм до $H = 165$ мм, що дещо збільшив температуру прокатування штаб (ШСГП 1680).

Ці нововведення в технологічний процес виробництва штаб на ШСГП змінили умови формування товщини по довжині штаби і дозволили отримувати її значення на задньому кінці в межах $\delta h_{\text{п}} = 0,1 - 0,19$ мм (рис. 3.1) (на тонких штабах).



Рис. 3.2. Изменение толщины полосы 2×1000 мм из стали марки Іпс, прокатаной с использованием Coilbox (длина сляба $L = 9,3$ м).
(Данные меткомбината «Запорожсталь»)

Після установки в 2008 році в лінію проміжного рольганга Coilbox (ППП - проміжного перемотувального пристрою), були внесені нові корективи в технологічний процес прокатування штаб на ШСГП, зокрема, це дозволило виконувати прокатування зливків на слябінгу головною частиною (тонкої) вперед. Це забезпечило зниження градієнта температур по довжині проміжного розкату перед кліткою №5 (першою в чистовій групі) до $\Delta t = 5 - 25$ °С. Як впливає з рис. 3.2, товщина штаби на основній довжині коливається в межах $\delta h_{\text{п}} = 0,01 - 0,05$ мм, а задній кінцева ділянка на довжині -6,7% (-50 м) отримує прирощення, рівне $\delta h_{\text{п}} -0,15$ мм. Це зумовлено

відсутністю заднього натягування штаби у всіх клітках стана. В інших випадках прирощення товщини на задньому кінці штаби може складати $\delta h_{\text{п}} = 0,05 - 0,1$ мм.

3.4 Застосування Койлбокс на проміжному рольгангу

На більшості ШСГП штаби прокатують за схемою: злиток - сляб - рулон. У цьому випадку маса рулону практично дорівнює масі сляба. На ШСГП 1680 в ряді випадків штаби прокатують за схемою злиток - сляб - поділ на дві частини масою 4,2 - 7,5 т - рулон. При транзитному прокатуванні на штабу проміжний розкат №1 перед чистовим окалиноломачем має температуру переднього кінця на 10 - 25 °С, а розкат №2 - на 25 - 35 °С більше, ніж температура на задньому кінці розкату (табл. 3.1). При прокатуванні розкату подвійної маси градієнт температури по його довжині значно більше і складає $\Delta t = 30 - 65$ °С (прокатування без Койлбокс).

При прокатуванні з Койлбокс середня температура проміжного розкату збільшується на 15 - 35 °С, а градієнт температур по його довжині зменшується до 15 - 30 °С. Останнє позначається на температурі штаби після кліті №10.

Таблиця 3.1. Температура проміжного розкату товщиною $H_p = 23 - 28$ мм перед чистовим окалиноломачем на кінцевих ділянках його довжини (чисельник - мінімальні, знаменник - максимальні значення). (Дані меткомбінату «Запоріжсталь»).

Схема прокатки, маса сляба	Без койлбокса, °С		Δt , °С	С койлбоксом, °С		Δt , °С
	t_n	t_z		t_n	t_z	
Одинарный №1	1045	1035	10	1075	1060	16
	1085	1060	25	1115	1090	25
Одинарный №2	1060	1035	25	1055	1040	15
	1085	1050	35	1100	1080	20
Двойной массы	1060	1030	30	1090	1070	20
	1120	1055	65	1120	1090	30

Таблиця 3.2. Температура готової штаби при різних схемах прокатування. (Дані меткомбінату «Запоріжсталь»)

Рулоны	h, мм	Без койлбокса, °С		С койлбоксом, °С	
		t_n	t_s	t_n	t_s
Одинарные	3,0 – 5,0	870	883	896	890
Двойные	3,5	920	875	-	-
	2,5	896	865	863	863
	2,0	868	836	836	842

При прокатуванні з Койлбокс середня температура проміжного розкату збільшується на 15 - 35 °С, а градієнт температур по його довжині зменшується до 15 - 30 °С. Останнє позначається на температурі штаби після кліті №10.

З табл. 3.2 випливає, що при прокатуванні штаб товщиною $h = 3 - 5$ мм наявність Койлбокс сприяє деякому підвищенню середньої температури прокатування при незначному градієнті температур по довжині штаби (початковий період експлуатації). При прокатуванні штаб товщиною $h = 2 - 2,5$ мм без Койлбокс градієнт температур по довжині штаби становить $\Delta t \sim 30$ °С, а з Койлбокс - $\Delta t = 0 - (-6$ °С) при деякому зниженні середньої температури переднього кінця штаби.

Останнє обумовлено тим, що передній кінець готової штаби формується з заднього кінця проміжного розкату. Велика температура заднього кінця готової штаби (менші теплові втрати в процесі прокатування) обумовлює зниження товщини штаби на ділянці 2-3 (рис. 3ю4). Збереження температури заднього кінця штаби забезпечує також суттєве зменшення товщини штаби на ділянці 3-4 (до $\delta h_n \sim 0,07 - 0,12$ мм). Прокатування штаб із застосуванням Койлбокс не усуває потовщення штаби на задньому кінці, хоча довжина його трохи зменшується. Коливання товщини штаби на ділянці 1 - 3 суттєво і становить $\delta h_n = 0,03 - 0,08$ мм, що обумовлено наявністю поздовжньої різнотовщинності розкату після чорнової групи клітей, нерівномірністю механічних властивостей штаби по довжині, зміною напружень натягування штаби, биттям валків.

3.5 Застосування напівбезперервного процесу прокатування

1. У Японії на трьох ШСГП з традиційною технологією прокатування в даний час використовують нескінченний процес прокатування штаб, в якому прокочують 15-16 з'єднаних «встик» на стикозварювальній машині проміжних розкатів, а потім кілька штаб прокочують в періодичному (індивідуальному) режимі з метою створення пауз між штабами для забезпечення інтенсивного охолодження робочих валків.

Напівбезперервний процес прокатування застосовують також і на ШСГП, що працюють у складі ливарно-прокатних агрегатів (ЛПА) [2,4,5], на яких прокочують проміжні розкати довжиною 250 .. 270 м. У цьому процесі при постійній температурі на вході розкату в кліті ШСГП температура штаби та її товщина на виході з чистової кліті при швидкості $V > 20$ м/с також будуть однаковими на довжині 3000...4000 м за винятком кінцевої ділянки довжиною 30...40 м, прокатати без заднього натягування. Можливі відносні втрати металу в обрізь при цьому будуть незначними.

В роботі [49] представлений інший спосіб зварювання зістиківаних штаб в гарячому стані на ШСГП, а саме безпосередньо у вогнищі деформації в процесі прокатування. Ідея способу заснована на тому, що при стикуванні двох суміжних штаб перед входом в кліть і при проходженні стику всередині осередку деформації напрямок течії металу кінцевих ділянок штаб протилежний. Відповідно до закону найменшого опору, метал заднього кінця штаби тече по шляху найменшого опору до площини входу, а метал переднього кінця другої штаби тече до площини виходу. При їх взаємному контакті в обмеженому обсязі осередку деформації і виникненні необхідних горизонтальних сил відбувається процес зварювання торців штаб подібно ковальському (гарячому) зварюванню - першому в історії виду зварювання.

Можливість виконання зварювання металів тиском показана дослідженнями під час холодної пластичної деформації, навіть за наявності окислених поверхонь штаб. Умови схоплювання (зварювання) при цьому, як встановлено, визначаються міцністю і твердістю окислів по відношенню до

основного металу, а також величиною пластичної деформації, яка буде достатньою для максимального зближення чистих поверхонь. Оскільки твердість окислів вище твердості основного металу, то під час пластичної деформації відбувається руйнування окисла і вихід на поверхню чистого металу. Руйнування окисла настає тим раніше, чим більше відношення (ϕ) твердості окисла до твердості самого металу. Так, для алюмінію при $\phi = 4,5$ схоплювання (зварювання) відбувається при пластичній деформації з відносним обтисненням $\varepsilon = 60\%$, а для міді з $\phi = 1,3$ зварюванні відповідає деформація з обтисненням $\varepsilon = 86\%$ [80].

При зварюванні тиском на з'єднаних поверхнях заготовок і в прилеглих обсягах металу, як правило, протікають наступні процеси: пластична деформація (в холодному або гарячому станах), формування і руйнування оксидних плівок, дифузія, зміцнення, рекристалізація та ін. Спочатку фізичний контакт забезпечується пластичною деформацією нерівностей на з'єднаних поверхнях. Згладжуванню поверхонь може сприяти поверхнева дифузія та інші процеси. Швидкість хімічної взаємодії (утворення зв'язків) в основному залежить від швидкості створення активних центрів на зближених поверхнях і дифузійних процесів у зоні зварювання. У тому випадку, якщо тривалість, величина пластичної деформації і температура процесу зварювання в твердому стані достатні для інтенсивного розвитку дифузійних процесів, в зоні з'єднання утворюються загальні зерна або нові фази. При зварюванні однорідних елементів критерієм закінчення процесу може служити рекристалізація, яка призводить до утворення загальних зерен у зоні контакту. В разі пластичного деформування зістикованих штаб з оплавленими торцями процес зварювання істотно прискорюється.

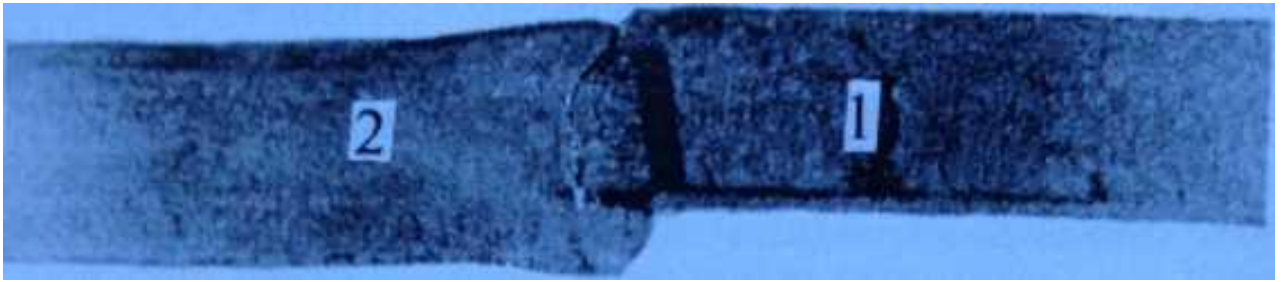


Рис. 3.3. Дві смуги, зварені встик в процесі при спільному прокатуванні у валках (вид зверху): 1 - перша смуга; 2 - друга смуга (нагрівання до температури $\sim 1200\text{ }^{\circ}\text{C}$)

Випробування способу стикового зварювання виконано при прокатуванні штабів товщиною 3,08 мм і 4,05 мм, шириною ~ 30 мм на стані з діаметром валків 200 мм. Зразки нагрівали в силітовій печі до температури $\sim 1200\text{ }^{\circ}\text{C}$ і попередньо зістиківаними прокатували у валках з обтисненням $\sim 30\text{...}40\%$. Спеціальну підготовку торців штаб не виконували. Після прокатування з'єднані у вогнищі деформації зразки зі сталі марки ст. 3 пс (рис. 3.3) досліджували в ЦЗЛ меткомбінату «Запоріжсталь».

Як видно з рис. 3.3, характер з'єднання зразків в осередку деформації свідчить про значну пластичну деформацію металу і наявність значної горизонтальної сили, яка при якісній підготовці торцевих поверхонь (або їх оплавленні), може забезпечити надійну зварку суміжних смуг. В умовах експерименту відносна площа ділянок зварювання штаб становила $10\text{...}12\%$, а решта ділянки зайнята окалиною, напруження розриву ділянки зварювання становила $250\text{...}280\text{ Ц / мм}^2$ (у холодному стані). На відстані $6\text{...}13$ мм від шва виявлена дрібнозерниста структура бал > 10 , а далі від шва відманштетовий структура штаб із зерном бал 3. Дрібнозерниста структура в області ділянок зварювання свідчить про значні горизонтальні деформації штаб.

3.6 Зменшення коефіцієнту тертя та СНКН.

Величина коефіцієнта тертя в перших клітях чистової групи ШСГП з традиційною технологією становить $f = 0,39\text{...}0,27$, а в останніх трьох- $f =$

0,26...0,20, зменшуючись у міру збільшення швидкості прокатування при зменшенні відносного обтиснення. Коефіцієнт тертя впливає на напружений стан в осередку деформації через поздовжні підпираючі напруження σ_3 і входить до формули для розрахунку СНКН [12,16,27]: Тобто коефіцієнт напруженого стану металу в осередку деформації при $\sigma_n = \sigma_3 = 0$. З виразу (1.5) випливає, що при зниженні коефіцієнта тертя в 1,5 рази величина СНКН зменшується в 1,12 рази. Таке зменшення коефіцієнта тертя при гарячому прокатуванні досягається при використанні в якості мастила мінерального масла [21].

Застосування на ШСГП 1680 під час гарячого прокатування штаб товщиною 2,0...3,0 мм мінеральної емульсії забезпечує зниження сили прокатування на 4,3...12,2% у кожній кліті [21]. Розрахунки показують [12, 25], що цього цілком достатньо для усунення приросту товщини штаби, так як розходження сил при прокатуванні заднього і переднього кінців штаби після клітей № 6-8, як правило, не перевищує 10 ... 15%.

Для реалізації цього способу впливу на ділянку заднього кінця штаби необхідно оснастити кліті (всі або декілька) спеціальними колекторами, а технологічне мастило транспортувати по спеціальних трубопроводах з цеху холодного прокатування штабів (промаслювач гарячекатаної штаби з безперервного травильного агрегату, емульсію з прокатного стану, в тому числі і відпрацьовану). У цьому випадку немає необхідності виготовляти емульсію спеціально в цеху гарячого прокатування. Технологічно мастило слід подавати або по всій довжині штаби або тільки на задній кінцевій ділянці з боку входу штаби у валки. Само масло буде повністю згоряти при прокатуванні, що виключає скидання відпрацьованої емульсії ЦХП у відстійник і в річку.

На рис. 3.4 змальована схема розташування обладнання системи подачі технологічного мастила на кліті ШСГП з бака 1 цеху холодного по трубопроводу 3, 4 (на лінії 3-4 можливе встановлення проміжного бака) [131]. За допомогою насоса 5, що приводиться в дію електродвигуном 6.

Емульсія через трубопроводи 7 і колектори 8 подається на валки робочих клітей 10 широкополосного стана гарячого прокатування (ШСГП). Електромагнітні клапани 9 призначені для відсікання подачі емульсії на валки (11 - смуга; 12 - проміжний розкат). Над розкатом 12 встановлений датчик 13 довжини розкату, пов'язаний з клапанами 9 (на схемі не показана система подачі на валки охолоджуючої води). Управління системою подачі мастила проводиться з головного поста операторів.

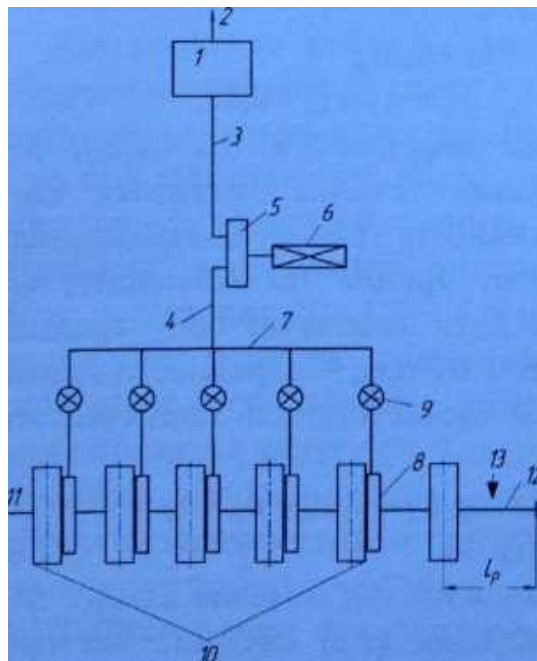


Рис. 3.4. Схема подачі технологічного мастила з цеху холодного прокатування на валки клітей ШСГП

До початку роботи ШСГП уся система від бака 1 (до клапанів 9) заповнюється технологічним мастилом з бака 1 (або з інших баків з технологічним мастилом цеху холодного прокатування). З метою зменшення товщини заднього кінця, після початку роботи стана і в процесі прокатування основної довжини штаби клапани 9 закриті, а при підході заднього кінця розкату довжиною $L = 4 \dots 5$ м до першої кліті чистової групи з датчика 13 надходить сигнал на відкриття клапанів 9 для пропуску мастила на робочі валки робочих клітей 10 ШСГП. Після виходу заднього кінця штаби з

чистої (останньої) кліті клапани 9 закривають доступ мастила до валяння клітей. Технологічне мастило подають на всі п'ять клітей (крім першої) або на останні три кліті в залежності від товщини прокатуваних штаб.

При наявності технологічного мастила на потовщеному кінці штаби зменшуються сили тертя і нормальна сила у вогнищі деформації, а, отже, зменшуються вертикальні пружні деформації кліті. Останнє забезпечує додаткове обтиснення заднього кінця штаби усуваючи тим самим його потовщення. При необхідності технологічне мастило можна подавати в процесі прокатування всієї довжини штаби.

Таким чином, пропонована система подачі готового технологічного мастила до валяння клітей ШСГП з баків зі стана холодного прокатування штаб забезпечує скорочення фінансових і матеріальних витрат при виробництві тонкої гарячекатаної штаби.

3.7 Підвищення температури заднього кінця розкату.

При використанні в лінії між чорною та чистої групами клітей ШСГП з традиційною технологією проміжного перемотувального пристрою (ППУ), задній кінець штаби формується з більш гарячого переднього кінця проміжного розкату. Однак, як свідчать експерименти, за наявності ППУ на задній кінцевій ділянці відбувається істотне прирощення товщини смуги на $\delta h_{\text{п}} = 0,08 \dots 0,15$ мм внаслідок відсутності заднього натягування штаби в клітях стана. В умовах такого технологічного процесу на ШСГП усунення потовщення заднього кінця штаби можливе шляхом локального додаткового нагрівання двох-трьох внутрішніх витоків проміжного розкату в рулоні, в результаті чого зменшуються сила прокатування штаби, пружні деформації кліті і товщини штаби. При внутрішньому діаметрі рулону 600...650 мм довжина додатково нагрітої ділянки розкату складе -4...5 м. Ступінь усунення потовщення кінцевої ділянки буде визначатися температурою додаткового нагрівання розглянутої локальної ділянки.

Нижче представлені результати розрахунку параметрів прокатування заднього кінця проміжного розкату товщиною $H_{\text{ПР}} = 24 \times 1250$ мм на штабу товщиною 2,5 мм (сталь марки 08 пс) в шести клітках (кліті №№6-10) ШСГП 1700 з діаметром робочих валків $D_p = 600$ мм у всіх клітках і швидкістю прокатування в кліті № 10 – $v_{10} = 9,0$ м/с . Ділянка V штаби (виміри 61-65) прокатування без заднього натягування. Приймаєм температуру в точці 65 проміжного розкату рівної $t_i = 980$ °С (базова), а температуру після додаткового нагріву на кінці проміжного розкату (точка 65) що дорівнює, °С: 1 000, 1020 та 1050. Визначаємо за відомим залежностям (1.1) - (1.5) [11-13,25,26] енергосилові параметри прокатування і зміни товщини готової штаби, відповідній точці 65 розкату при зазначених температурах прокатування. У сталому процесі прокатування передне і задне натягування рівні $\sigma_{\text{п}} = \sigma_3 = 15$ Н/мм², а при прокатуванні заднього кінця без натягування- $\sigma_3 = 0$. Розрахункові параметри прокатування для базового встановленого процесу (з фіксованою товщиною штаби в точці 65 при $\delta h_{\text{п}} = 0$) , а також параметри прокатування заднього кінця штаби в кліті №10 при початковій температурі 1000,1020 і 1050 °С в точці 65 проміжного розкату представлені в табл. 3.3 (початкові температури проміжного розкату має індекс «п»). У першій частині табл. 3.3 представлені параметри прокатування заднього кінця проміжного розкату в серійному режимі, тобто при температурі в точці 65 проміжного розкату рівної $t_i = 980$ °С. Товщина готової штаби в точці 65 прийнята рівною $h_{10} = 2,5$ мм і $\delta h_{\text{п}} = 0$. Як впливає з табл. 3.3, коефіцієнт тертя в міру зменшення товщини штаби значно зменшується внаслідок превалюючого впливу збільшеної швидкості прокатування.

Таблиця 3.3. Параметри прокатування штаби 2,5x1250 мм з проміжного підкату $H_{\text{ПР}} = 24$ мм при різних температурах заднього кінця в точці 65 (для клітей 5-10 серійний режим)

№ кліті	h, мм	f	$R_{\text{ср}}$, Н/мм ²	R, МН	$M_{\text{п}}$, МН/мм	$t_{\text{н}}$, °С	$\delta h_{\text{п}}$, мм	
5	14,0	0,355	226	15,8	1,43	980п		
6	8,5	0,315	269	14,1	2,31	958		
7	5,5	0,278	300	11,8	3,49	941		
8	3,7	0,233	338	10,6	5,33	919		
9	2,9	0,214	288	6,2	6,50	898		
10	2,5	0,189	250	3,9	7,88	867	0	
			Опытный режим					
10	2,48	0,188	249	3,8	7,9	100 п	-0,02	
10	2,43	0,187	244	3,7	7,8	102 п	-0,07	
10	2,38	0,185	237	3,5	7,4	105 п	-0,12	

При прийнятому режимі деформації сила прокатування R зменшується від кліті до кліті, а модуль жорсткості штаби $M_{\text{п}}$ зростає з 1,43 до 7,88 МН/мм.

При додатковому нагріванні внутрішніх витоків проміжного розкату до температур $t_{\text{н}} = 1000, 1020$ і 1050 °С сила прокатування і модуль жорсткості штаби зменшуються, що обумовлює зменшення приросту товщини в точці 65 кінцевої ділянки готової штаби на $\delta h_{\text{п}} = - (0,02...0,12)$ мм (останні три рядки в табл. 3.3). Таким чином, для усунення (зменшення) збільшення задньої кінцевої ділянки готової штаби при цій технології необхідно попередньо підігрівати 2-3 внутрішніх витка рулону проміжного розкату додатково на $50...70$ °С.

Для додаткового підігріву внутрішніх витків рулону проміжного розкату при його розмотуванні ППУ, у внутрішню його порожнину вводять

стрижень з водоохолоджуваним індукційним нагрівачем захищеним від ударів витками розкату потужність якого достатня для нагрівання металу до необхідної температури.

За даними [24] для нагріву розкату товщиною 20...30 мм потрібно менше 30 с. Після закінчення розмотування стрижень прибирають з лінії рольганга для прийому нового рулону. Підвищена температура розкату забезпечить зменшення товщини штаби і усунення потовщеного кінцевої ділянки.

Таким чином, з аналізу слідує, що локальна ділянка потовщення заднього кінця штаби може бути усунута лише локальним впливом одним (або кількома) з наведених методів. Існують інші методи впливу на локальну ділянку довжини штаб, але і наведені вище, на наш погляд, є реальними для застосування в промислових умовах.

3.8 Вплив інших факторів.

Одним зі способів зниження кінцевого потовщення є вплив гідророзпора робочої кліті [1, 2, 30]. У цьому способі основну довжину штаби прокочують при зусиллі,

$$P_Q = P + Q, \quad (3.6)$$

а задній кінець на ділянці 3-4 прокочують при $Q \rightarrow 0$ і $P_Q = P$, де P - сила власне прокатування; Q - сила гідророзпора кліті; P_Q - повне силове навантаження на кліть.

При $Q \rightarrow 0$ за рахунок зменшення розтягування стійок кліті відбувається відповідна пластична деформація штаби без зміни сили на кліть, тобто $P_Q = P$. Реалізація цього способу вимагає оснащення кліті (або декількох клітей) спеціальною системою гідравлічного впливу на подушки опорних валків, що вимагає істотних витрат і ускладнює обслуговування стана.

В роботі [2] зазначається, що ефект гідророзпора кліті може бути отриманий при наявності противовигина робочих валків в кількох останніх клітках чистової групи. Такі пристрої є на всіх ШСГП. У цьому способі штабу на ділянці 1 - 3 (рис. 3.1) прокочують при максимальних (необхідних) значеннях Q_{1-3} , а на ділянці 3 - 4 виробляють скидання тиску в системі гідровигина до $Q_{3-4} \sim 0$. За рахунок пластичної деформації товщина її на ділянці 3 - 4 і кінцеве потовщення відповідним чином зменшуються.

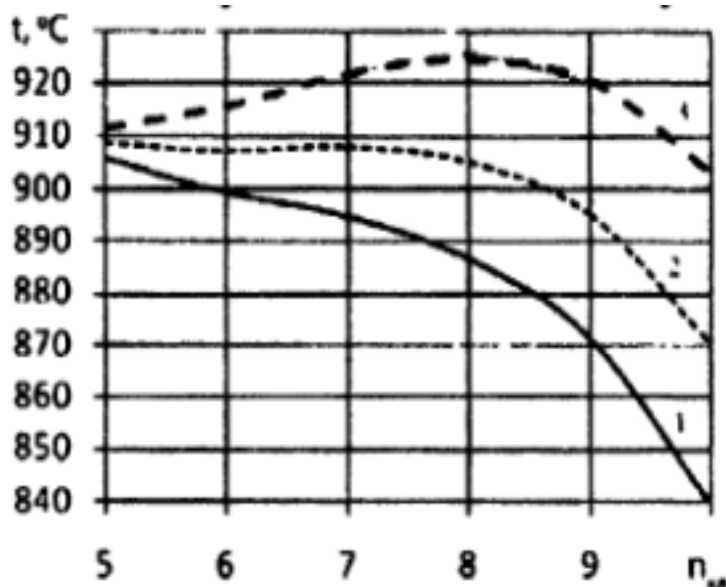


Рис. 3.5. Зміна середньої температури дільниці 4 штаби по кліткам стана ($n_{кл}$) при зниженні втрат тепла на задньому кінці (ділянка 4) при прокатуванні штаби 2×1250 мм, $\Delta t_n / \Delta t_b$: 1 - 0; 2 - 0,25; 3 - 0,5 ($H_p = 20$ мм, $\Delta t_5 = 60$ °C).

Оцінимо вплив дії противовигина робочих валків на зміну потовщення заднього кінця штаби.

Кінцеве потовщення розраховують за виразом

$$\delta h_n = [(P_i + Q_i) - (P_n + Q_n)] / (M_{кл} + \delta M_n), \quad (3.7)$$

де P_n і Q_n - сили, відповідно, прокатування і противовигина при мінімальній товщині штаби (ділянка 2); P_i і Q_i - сили, відповідно прокатування і противовигина, наприклад, на ділянці 3-4.

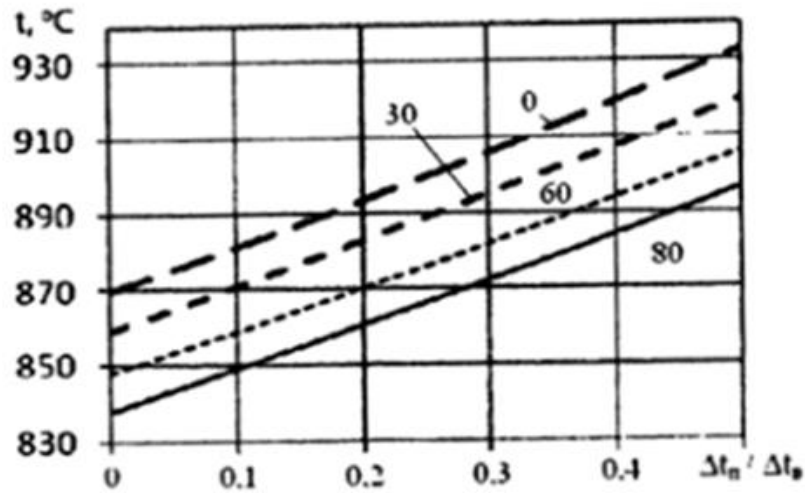


Рис. 3.6 Средняя температура полосы на участке 4 в клети №10 при изменении $\Delta t_n / \Delta t_b$ и Δt_s , °C (числа у кривых). $H_p = 20$ мм, полоса 2×1250 мм.

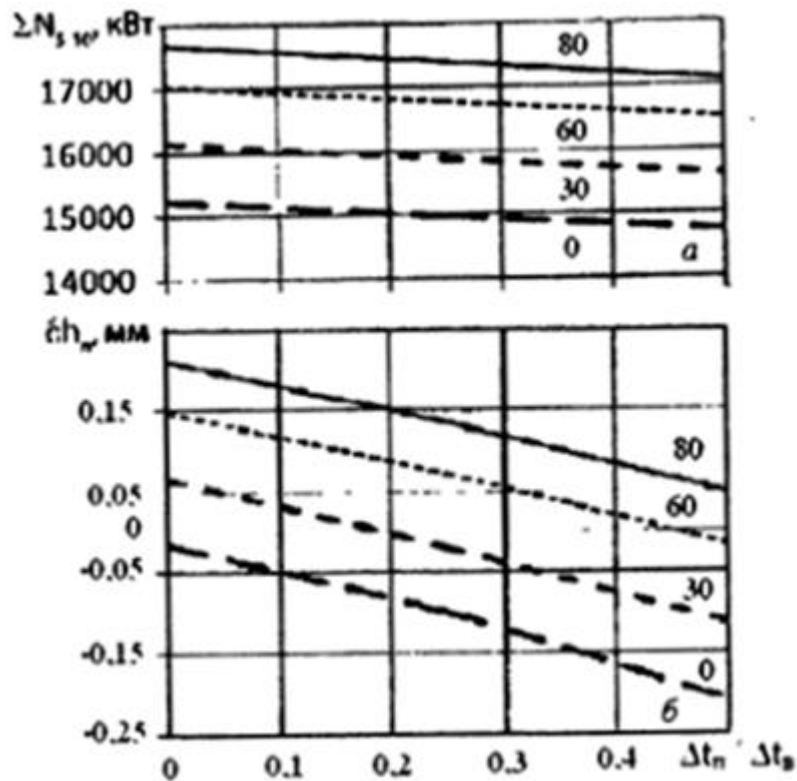


Рис. 3.7. Зміна сумарної потужності в клітях №5 - 10 (а) і кінцевого потовщення на ділянці 4 штаби 2×1250 мм в кліті №10 (б) в залежності від зниження втрат тепла $\Delta t_n / \Delta t_b$ штаби при різних величинах градієнта температури Δt_s проміжного розкату (числа кривих) ($H_p = 20$ мм)

Беручи $Q_i = n_Q \cdot P_i$ и $Q_H = n_Q \cdot P_H$, після перетворення виразу (3.5) отримаємо,

$$\delta h_H = (1 + n_Q)(P_i - P_H) / (M_{\text{ка}} + \delta M), \quad (3.8)$$

Із якого випливає, що зменшення коефіцієнта n_Q забезпечує зменшення значення чисельника і, отже, зменшення приросту товщини штаби

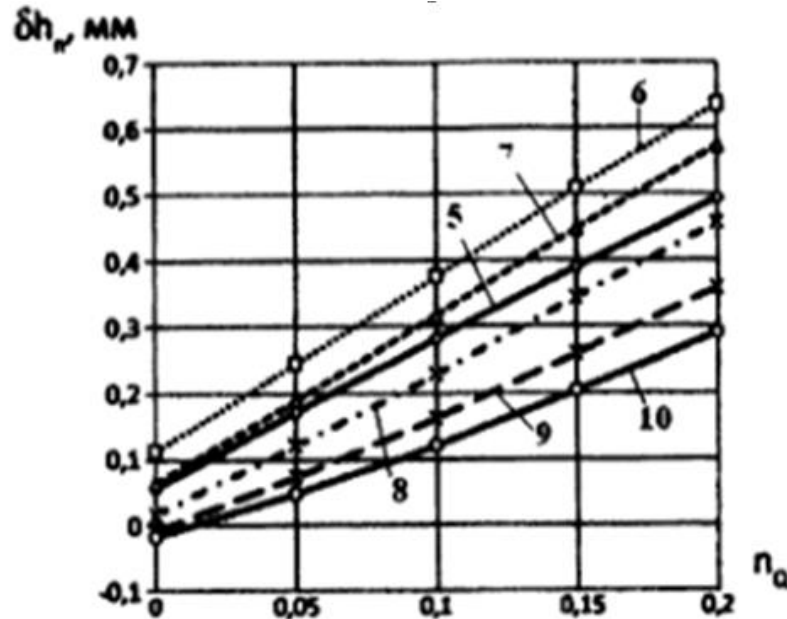


Рис. 3.8. Изменение продольной разнотолщинности полосы 2×1250 мм при изменении величины силы противоизгиба рабочих валков.

Вплив сили противоизгибу теоретичним шляхом оцінювали для випадку прокатування штаби 2×1250 мм стосовно до широкоштабового стана 1700 (1680) гарячого прокатування для чистової групи клітей № 5 - 10. У практичних умовах для регулювання міжвалкового зазору застосовують сили гідравлічного вигину валків в межах $Q < 0,2 P$. Розрахунки сили гарячого прокатування виконували за моделями, а прирощення товщини штаби (поздовжню різнотолщинність) ітераційним методом за виразами (3.1) - (3.5). Зусилля Q_1 у клітях № 5-10 змінювали в межах $Q_i = (0-0,2) P$ ($n_Q = 0-0,2$). Часткові результати теоретичних досліджень наведено в табл. 3.4 і на рис. 3.6. У табл. 3.4 ділянка 2 відповідає передньому кінцю штаби з мінімальною товщиною, що прокатується з переднім і заднім натягуванням, а ділянка 4 - задньому кінцю штаби, який має меншу температуру і прокатується без заднього натягування.

Ділянка 2 прокатується при силі $P_H = Q_i (n_{Q_i}) P_2$ і зусиллі противовигина $Q=Q_2 = n_{Q_i} P_i (n_{QH}=0,2)$ Відповідно з цією умовою приймаємо для розрахунку приросту товщини штаби на ділянці 4 сили противовигина, рівні $Q_i = n_{Q_i} P_i (n_{Q_i} = 0; 0,05; 0,1; 0,15; 0,2)$. При цьому, для $Q_2 = \text{const}$ при максимальному значенні i , отже, максимальному пружному розтягуванні стійок станини отримуємо максимальне збільшення товщини штаби на ділянці 4. Так, для кліті №5 при $Q_H = 0,2P_H (n_{Q_2} = 0,2)$ і $n_{Q_4} = 0,2$ прирощення товщини штаби на ділянці 4 в кліті №5 склало $\delta h_{\text{п}} = 0,496$ мм проти $\delta h_{\text{п}} = 0$ на ділянці 2 (табл. 3.4). Усунення сили противовигина робочих валків при прокатуванні ділянки 4 ($n_{Q_4} = 0$) забезпечує практично повне усунення поздовжньої різнотовщинності (прирощення товщини штаби на ділянці 4) $\delta h_{\text{п}} = 0,057$ мм (зменшення $\sim 90\%$). У кліті №10 прирощення товщини штаби усувається повністю (з $\delta h_{\text{п}} = 0,292$ до $\delta h_{\text{п}} = -0,017$ мм). Відповідно до розрахунків, для прийнятого режиму деформації зміна зусилля противовигина на $n_{Q_4} = 0,01$ призводить до зміни товщини штаби на $\delta h_{\text{п}} = 0,013 - 0,024$ мм. Менше значення відноситься до чистової кліті №10, де менше сила прокатування. При прокатуванні штаби з однаковими значеннями $Q_H = Q_i = 0,2P$ прирощення $\delta h_{\text{п}}$ товщини штаби на ділянці 4 в порівнянні з ділянкою 2 відбувається внаслідок меншої температури металу і відсутності заднього натягування.

Сила противовигина для робочих валків створюється гідравлічною системою, яка подає масло під плунжер циліндрів в подушках робочих валків. Максимальний тиск масла $q = 30$ МПа. При наявності чотирьох плунжерів діаметром $d = 105$ мм максимальна сила противовигина виявиться рівною $Q = 0,104$ МН, яка при діючих силах на валки (табл. 3.4) виявляється недостатньою для отримання ефективного зниження поздовжньої різнотовщинності штаби. Підвищення сили Q на шийки робочих валків забезпечується впливом на них пристроями клинового типу, [24, 25] які дозволяють досягати значень $Q > 0,2P$.

При регулюванні товщини штаби гідровигином відсутній додатковий знос деталей натискних пристроїв і знижується витрата електроенергії на привід натискних пристроїв. У реальних умовах прокатування очевидно, доцільно виконувати регулювання товщини штаби в перших клітках чистової групи за допомогою додаткового обтиснення натискними пристроями, а в останніх двох-трьох клітках, пристроєм гідровигину робочих валків.

Таблиця 3.4. Параметри деформації штаб 2x1250 мм з підкату $H_p = 20$ мм при різних значеннях сили противовигина на ділянці 4. Кліть 5.

Параметр	Участок 2 при $n_{Q2} = 0,2$	$n_{Q4} = 0$	$n_{Q4} = 0,05$	$n_{Q4} = 0,1$	$n_{Q4} = 0,15$	$n_{Q4} = 0,2$
H , мм	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0
h , мм	13,000	13,057	13,172	13,283	13,392	13,496
Δh , мм	7,000	6,943	6,828	6,717	6,608	6,504
ϵ	0,350	0,347	0,341	0,336	0,330	0,325
δh_n , мм	0,000	0,057	0,172	0,283	0,392	0,496
v , м/с	1,44	1,44	1,44	1,44	1,44	1,44
$t_{ср}$, °C	946	872	873	873	873	873
f	0,366	0,380	0,379	0,378	0,377	0,376
u , с ⁻¹	10,8	10,8	10,7	10,6	10,5	10,4
$\sigma_{ф}$, Н/мм ²	152,5	181,0	180,1	179,3	178,6	177,8
l_c , мм	47,41	47,40	47,01	46,62	46,24	45,87
$P_{ср}$, Н/мм ²	257,0	313,0	309,3	305,7	302,5	299,2
P , МН	15,23	18,55	18,17	17,82	17,49	17,15
M_n , МН/мм	1,87	2,29	2,27	2,25	2,24	2,22

ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ

В даний час на станові практично відсутні спеціальні пристрої та методи впливаючі на поздовжню різнотовщинність штаб. Недоліками технологічного процесу на ШСГП 1680 ВАТ «Запоріжсталь» є:

- Необхідність прискорення обертання валків всіх 5-7 клітей після захоплення штаби моталкою, на що витрачається значна кількість електроенергії;

- Складності в оперативному регулюванні деформаційно-температурного режиму прокатування штаб в 5-7 клітях для отримання необхідних механічних властивостей;

- При прокатуванні штаб при знижених кінцевих температурах до 750-800°C задіяні всі 5-7 клітей, що призводить до суттєвих втрат електроенергії при деформації металу.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА

4.1 Аналіз потенційних небезпечних і шкідливих факторів виробничого середовища

Прокатний цех оснащений різноманітним механічним і електричним підйомно-транспортним устаткуванням, обслуговування якого вимагає чіткого дотримання правил техніки безпеки й норм виробничої санітарії. Прокатне виробництво відрізняється від інших металургійних виробництв високою швидкістю технологічних операцій, інтенсивністю вантажопотоків і розмаїтістю метеорологічних умов на різних ділянках.

Одним з основних ділянок цеху є стан гарячого прокатування, на якому проводять гарячу обробку металу тиском. Стан гарячого прокатування має ділянки: пічна, чорнова і чистова група клітей, хвостова частина.

Технологічний процес на стані «1680» механізований і автоматизований, операції з металом здійснюються без особистої участі обслуговуючого персоналу.

На виробництві застосовуються наступні технічні засоби забезпечення безпеки праці:

- огорожувальні пристрої, що створюють перешкоду між людиною й небезпечним фактором, що надійно охороняють працюючого незалежно від правильності або неправильності його дій; запобіжні пристрої на випадок аварійних режимів - відключення устаткування при порушенні контролюючого параметра (температури, переміщення, величини струму або напруження, зусилля);

- гальмові пристрої для швидкої зупинки частин, що рухаються, машин і устаткування; блокувальні пристрої, що забезпечують фіксацію частин механізму в певному стані; сигналізація перед наступаючою небезпекою (світлова, звукова).

Умови праці характеризуються наявністю таких шкідливих факторів, як запиленість, загазованість, тепловипромінювання й шум. Багато основних і допоміжних технологічних операцій супроводжуються виділенням значних кількостей пилу. Вміст різних елементів у пилу пропорційно хімічному вмісту сталі. Найбільш високий вміст пилу спостерігається в становому прольоті й на складі готової продукції.

При прокаті зливків на стані виділяється пил, що містить окисли заліза. У зв'язку із цим проводиться пиловловлення. Для цих цілей установлені скрубери. Основними джерелами виділення шкідливих газів служать нагрівальні пристрої, прокатні стани й інше технологічне встаткування.

У процесі прокатування виділяється значна кількість тепла, що випромінюється нагрітими заготівлями й устаткуванням стана. Більша інтенсивність теплового випромінювання має місце на робочих місцях у нагрівальних печей, у прокатного стана, на ділянці ножиців і пив гарячого різання, а так само в штабелів гарячого металу на складах готової продукції.

Виділення тепла на деяких ділянках досягає 411 Вт/м^2 . Інтенсивне інфрачервоне випромінювання, крім прямого впливу на робітників, нагріває навколишні поверхні і предмети, які стають додатковими потужними джерелами тепловиділення. В результаті повітря цеху в теплий період року значно нагрівається до 37°C . У холодний період року тепловиділення, створюючи сильний тепловий напір, сприяє інтенсивному повітрообміну, за рахунок якого повітря робочої зони нерідко значно переохолоджується.

У технологічних процесах цеху основними потенційними небезпеками є ураження електричним струмом, рухомі машини і механізми. Джерелами прихованої небезпеки дії електричного струму служать електроустановки. Робота електротермічного устаткування створює небезпеку теплового ураження персоналу.

Для робочого місця вальцювальника відповідно до гігієнічної класифікації дана характеристика трудового процесу і оцінка чинників виробничого середовища, яка представлена в табл. 4.1.

Таблиця 4.1 – Оцінка чинників виробничого й трудового процесу вальцювальника

№ п/п	Фактори виробничого середовища й трудового процесу	Норм. знач. (ГДК, ГДЗ)	Факт. знач.	III клас: шкідливі й небезпечні умови й характер праці			Час дії фактора за зміну, %
				I ст.	II ст.	III ст.	
1	Шкідливі хімічні речовини, мг/м ³ <u>I клас безпеки</u>						
	Ангідрид хромовий	0,01	0,06			6,0	90
	Оксид марганцю	0,05	0,39			7,8	90
	<u>II клас безпеки</u>						90
	Акролеїн	0,2	0,66		3,3		
	<u>III клас безпеки</u>						90
	Ангідрид сірчистий	10	6,83	1,63			90
	Вуглецю оксид	20	25	1,25			90
	Масла мінеральні	5	6,78	1,36			
2	Пил, переважно фіброгенної дії, мг/м ³	4,0	26,3			6,58	90
3	Вібрація (загальна й локальна) дБ	92	95	3			90
4	Шум, дБА	80	87	7			100
8	Мікроклімат у приміщенні:						
	- температура повітря ⁰ С;	13-26	37			11	90
	- швидкість руху повітря, м/с;	0,3-0,6	0,6				
	- відносна вологість повітря, %;	40-60	45				
	- інфрачервоне випромінювання, Вт/м ²	140	2950			2950	83
11	Тяжкість і напруженість праці	Категорія робіт - важка, III напружена					

Таким чином, проведений аналіз умов праці дозволяє зробити висновок, що умови праці відносяться до III класу 3 ступеня. Робоче місце має в наявності 5 чинників I ступеня, 1 чинник II ступеня і 5 чинників III

ступеня. За показниками робоче місце слід вважати з особливо шкідливими і особливо важкими умовами праці.

4.2 Заходи з поліпшення умов праці

Пил виявляє шкідливу дію на організм людини, подразнюючи шкіру, очі, ясна, вуха. Проникаючи в легені, пил може викликати специфічні професійні захворювання, такі як силікоз, силікатоз, антракоз та ін. [51].

Найбільш ефективними засобами боротьби з пилом є механізація виробничих процесів з аспірацією пилу з місць її утворення, а також зрошування водою при різних робочих операціях, пов'язаних з пилоутворенням. Також необхідно застосовувати засоби індивідуального захисту органів дихання, зокрема респіратор ШБ-2 «лепесток», який усуває дію пилу на організм працюючих [52].

Одному з основних заходів по попередженню можливого отруєння оксидом вуглецю (II), сірчистим ангідридом, оксидом марганцю і іншими газами є своєчасне виявлення місць їх виділення або скупчення. Ці місця є газонебезпечними. Перелік таких місць і ділянок складається заздалегідь і затверджується головним інженером заводу. Працівники санітарно-технічних лабораторій і газорятувальні служби щодоби по встановленому графіку контролюють склад повітряного середовища в усіх газонебезпечних місцях. При виявленні виділень або скупчень газу негайно приймають заходи по припиненню допуску в газонебезпечні зони людей і локалізації джерела виділення газу [52].

Основними заходами щодо боротьби з пилом у прокатному виробництві є:

- впровадження раціональних технологічних процесів і вдосконалення устаткування;
- застосування ефективної герметизації всіх пиловиділяючих джерел,

зволоження пилю водою або парою;

- пристрій спеціальної пиловловлювальної вентиляції від місць пилоутворення з очищенням повітря перед викидом його в атмосферу через систему фільтрів, регулярне збирання пилю з робочих місць спеціальними пиłosосами, застосування індивідуальних засобів захисту (респіраторів, окулярів, спецодягу й ін.).

Заходами щодо зменшення загазованості є: забезпечення постійного нагляду за дотриманням технологічних інструкцій і інструкцій з техніки безпеки; дотримання затверджених технологічних режимів; проведення регулярних профілактичних оглядів устаткування й газових комунікацій для своєчасного згоряння газу й справності системи видалення продуктів згоряння.

Для поліпшення мікроклімату на робочих місцях передбачена природна і механічна подача повітря душируючими установками з обробкою повітря на типових кондиціонерах до постійних робочих місць.

Також потрібна витяжна вентиляція за допомогою місцевих відсмоктувань і механічної вентиляції з верхньої зони, і природна загальнообмінна вентиляція з верхньої зони [52].

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

Для огороження припливу холодного повітря ззовні під час в'їзду й виїзду транспорту над воротами встановлені пристрої для створення завіси з теплого повітря. Всі обігрівальні установки забезпечують температуру повітря в приміщенні в межах 16-20⁰С.

Вентиляція виробничих приміщень забезпечує потрібні гігієнічні якості повітря. У цеху спостерігається зайве теплове виділення від нагрітого металу.

З метою забезпечення нормального повітрообміну в стінах цеху передбачені три ряди отворів для природної вентиляції: 1 ряд - на рівні 1,5 м від підлоги; 2 ряд - на рівні 4,5 м від підлоги.

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

Згідно ДБН В.2.5-28-2006 роботи, що виконуються персоналом, відносяться до 8 розряду зорових робіт. У приміщеннях цеху для освітлення застосовують, як правило, газорозрядні лампи. Типи світильників вибирають залежно від умов їхньої роботи й вимог до якості освітлення.

Для загального освітлення застосовують світильники «Альфа». У місцях підвищеної небезпеки, де освітленість при системі загального освітлення становить 150 лк і менш, норму освітленості збільшують на 1 розряд.

У випадку виходу з ладу робочого освітлення використовують аварійне, яке забезпечує можливість продовження роботи або евакуації персоналу.

У прокатному цеху установка аварійного освітлення обов'язкова на пості керування прокатним станом; пунктах керування системами водопостачання, вентиляції й каналізації, у машинному залі й диспетчерському пункті.

Найменша освітленість робочих поверхонь, потребує 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.

Окремі ручні операції в прокатних цехах сполучені зі шкідливим впливом вібрації на організм людини. Особливо небезпечними є ручна вирубка пороків на поверхні металу пневматичними зубилами, наждакове

зачищення поверхні, ручне таврування металу за допомогою пневмоінструменту. Нормами визначена маса вібруючого устаткування й сила натиску на нього працюючого.

Маса вібруючого устаткування і його частин, що утримується руками в різних положеннях у процесі роботи, не повинна перевищувати 10 кг. Сила натиску працюючого на вібруюче устаткування і його частини не повинна перевищувати 20 кгс.

Всі робітники, зайняті на роботах з вібруючим устаткуванням, повинні проходити один раз у рік медичний огляд. Санітарними нормами й правилами заборонений допуск до роботи з вібрацією осіб молодше 18 років і жінок у період вагітності.

Надмірний шум негативно позначається на продуктивності праці.

Тривала дія шуму може привести до зниження слуху, а іноді до глухоти.

Шум негативно впливає на серцево-судинну і центральну нервову систему.

Для захисту виробничого персоналу від шуму устаткування його повністю закривають герметично звукоізолюючим кожухом, який виготовляють зазвичай із сталевих листів товщиною 2-3 мм, а внутрішні поверхні облицьовували звукопоглинальними матеріалами. Якщо це не зробити, то за рахунок хорошої відбивної здатності сталевих листів рівень шуму усередині кожуха різко підвищиться і його фактична звукоізоляція виявиться зменшеною на 18-20 дБА. Звукоізолюючий кожух встановлюють на пружних прокладеннях, а машину ретельно віброізолюють від фундаменту, не допускаючи жорстких контактів між машиною і кожухом. Отвори для циркуляції повітря і проходу комунікацій забезпечуються глушниками шуму або герметизуються сальниками.

Для захисту від шумових навантажень на організм людини застосовуються спеціальні вставки у вуха «беруши» і противошумові навушники.

У процесі прокатування виділяється значна кількість тепла,

випромінюваного нагрітими заготівлями й устаткуванням стана. Більша інтенсивність теплового випромінювання має місце на робочих місцях у нагрівальних печей, у прокатного стана, на ділянці ножиць і пил гарячого різання, а так само в штабелів гарячого металу на складах готової продукції.

Підвищена тепла дія на організм людини призводить до перенапруження його терморегуляторних функцій і може викликати порушення теплового балансу організму. Посилене потовиділення при напруженій м'язовій праці в умовах підвищеного температурного режиму призводить до втрати кров'ю хлористого натрію, що є основним елементом що утримує в крові воду. Вимивання з'єднань хлору з організму призводить до пониження кислотності шлункового соку і виникнення шлунково-кишкових захворювань [53].

Для зниження шкідливої дії тепла на організм людини стінки і колони мають бути теплоізольовані, а над печами мають бути влаштовані зонти з витяжними трубами. З боків електропечей для захисту від променистого тепла мають бути влаштовані екрани у вигляді щитів з металевих листів і азбесту або сіток, безперервно зрошуваних водою. Також використовують спеціальний одяг для запобігання працюючих у гарячому цеху від впливу теплового випромінювання й опіків.

4.3 Заходи з електробезпеки

На ділянках стана й нагрівальних колодязів потенційно небезпечними виробничими факторами є: пересування електромостових кранів і транспортерного візка з вантажем або без нього, частини механізмів клітей, що обертаються, рух зливків і слябів по лінії стана [54].

Пересування по території стана й нагрівальних колодязів дозволяється тільки по встановлених переходах. При пересуванні або виконанні робіт працівники повинні бути уважні до сигналів операторів електромостових

кранів, і до роботи світлової сигналізації, не перебувати під піднятим вантажем і на шляху руху передатних візків.

Працюючим на стані й на колодязях необхідно [54]:

- прийняти й здати зміну на робочому місці, доповісти старшому майстрові;
- працювати в чистому, справному спецодязі й спецвзутті, покладеної по нормах для кожної професії;
- користуватися відповідними засобами захисту й запобіжними пристосуваннями;
- виконувати доручену роботу з дотриманням всіх вимог інструкції з техніки безпеки й промислової санітарії;
- виконувати вказівки бригадира й майстра;
- виконувати вимоги попереджувальних написів і плакатів ТБ;
- не приступати до роботи, якщо умови її виконання суперечать інструкціям з техніки безпеки або іншому документу, що регламентує безпечне ведення робіт, а також без інструктажу з техніки безпеки при тимчасовому перекладі на іншу роботу;
- під час роботи бути уважним, не відволікатися й не відволікати інших;
- не допускати на робоче місце осіб, що не мають відносини до роботи; виконувати правила пожежної безпеки й промислової санітарії й особистої гігієни;
- не залишатися байдужим до порушення інструкцій іншими робітниками.

При одержанні навіть незначної травми негайно звернутися в медпункт і сповістити про це майстрові, а при його відсутності бригадирові, старшому робітникові або товаришеві по праці, надати першу допомогу потерпілому.

При виявленні порушень, які можуть привести до аварій і нещасних випадків, негайно припинити роботу сповістити про це майстрові або бригадирові.

Працюючим на стані й на колодязях забороняється [54]:

- працювати на механізмах, що не мають огородження обертових частин;
- обслуговувати на ходу й заходити за огородження частин, що рухаються;
- доторкатися до електропроводів, рубильників і моторам, щоб уникнути поразки електричним струмом.

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

Становий проліт відповідно до вимог ПУЕ СНіП III-33-76 відноситься до зони класу В-I б - це зони, розташовані в приміщеннях, у яких при нормальній експлуатації вибухонебезпечні суміші горючих газів або пар ЛЗР із повітрям не утворюються, а можливі тільки в результаті аварій або несправностей.

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

Однією з основних причин поразки електричним струмом є пробій ізоляції. При ушкодженні ізоляції електроустаткування напруження може випадково з'явитися на металевих частинах (на корпусі, кожусі, станині, броні кабелю й т.д.), які в нормальному положенні не перебувають під напруженням. При сполученні з металевими конструкціями, які оказались під напруженням, виникає небезпека поразки електричним струмом.

У цеху з підвищеною температурою повітря використовують наступні міри захисту від поразки електричним струмом [54]:

- захист від дотику до струмоведучих частин;
- захист від дотику до устаткування, що випадково оказались під напруженням;
- захист від струмів надмірної сили (короткого замикання).

У цеху застосовують огороження й ізоляцію струмоведучих частин, розміщують їх на недоступній висоті, використовують знижену напруженість.

Також застосовують захисне заземлення. Захисні функції заземлюючого пристрою складаються в зниженні до безпечної величини напруження щодо землі на металевих частинах, які опинилися випадково під напруженістю, що дозволяє усунути небезпеку поразки людини.

При обслуговуванні електроустановок застосовують захисні засоби, ізоляція яких надійно витримує робочу напруженість установки й при користуванні яким допускається безпосередній дотик до струмоведучих частин, що перебуває під напруженістю.

Також застосовують засоби захисту, що підсилюють дії основних засобів і які забезпечують безпеку при напрузі дотику й кроковій напрузі.

До засобів індивідуального захисту відносяться: ізолююча штанга, ізолюючі кліщі, діелектричні боти, діелектричні рукавички, ізолюючі підставки й ін.

4.4 Заходи з пожежної та техногенної безпеки

Пожежна безпека забезпечується системою запобігання пожежі, системою пожежного захисту й заходами організаційного характеру. Цех гарячого прокатування по небезпеці виробництва відноситься до категорії В [55].

Причинами пожеж можуть бути недоліки в будівельних конструкціях, спорудах, плануванні приміщень, пристрої комунікацій, дефекти устаткування, порушення режимів технологічних процесів, неправильне ведення робіт, необережність і недбалість персоналу, самозаймання, розряди атмосферної і статичної електрики.

До основних умов запобігання пожежі відносяться запобігання утворення пожежного середовища й появи джерел загоряння.

До організаційних заходів щодо забезпечення пожежної безпеки відносяться пожежна охорона об'єкта, розробка й здійснення правил і норм пожежної безпеки, правил дотримання протипожежного режиму й установлених заходів щодо ліквідації виниклої пожежі.

До організаційних протипожежних мір відносяться:

- розробка правил і інструкцій із протипожежної безпеки;
- організація вивчення правил і інструкцій із протипожежної безпеки;
- організація протипожежної служби, пожежної технічної комісії (ПТК) і добровільних пожежних дружин (ДПД);
- розробка й затвердження плану порядку оповіщення людей, які встановлюють обов'язки й дії, що працюють на випадок виникнення пожежі.

Головну пожежну небезпеку становлять вибухи газу. Для нього характерно те, що він на відміну від звичайних пожеж становить безпосередню небезпеку для життя працюючих. Цей процес виникає раптово й протікає настільки швидко, що робітники не встигають покинути робочі місця.

Значну пожежну небезпеку представляють нагрівальні пристрої з високою температурою поверхні.

Застосування відкритого вогню в приміщеннях збільшує пожежну небезпеку.

При застосуванні електричного опалення можливі перегрів і запалення ізоляції проведення й виникнення короткого замикання, що може спричинити пожежу.

До найбільш імовірних причин перегріву проводів варто віднести проходження струму надмірно великої величини й виникнення більших місцевих опорів внаслідок неправильного пристрою або монтажу електроустановок.

Для запобігання загоряння ізоляції й короткого замикання проводів застосовують плавкі запобіжники або спеціальні автомати, що відключають мережу при перевантаженні.

Електрична дуга, що має температуру вище 300°C , представляє більшу пожежонебезпеку. Тому конструкція й режим експлуатації повинні виключати утворення електричної дуги. Якщо утворення електричної дуги пов'язане з режимом експлуатації, то в таких випадках застосовують додаткові пружні ножі для рубильників і дугогасильний пристрій у вигляді посудин, заповнюваних трансформаторним маслом.

Особливої уваги заслуговує виконання вогнебезпечних робіт.

Тимчасові небезпечні роботи допускаються по письмовому дозволу адміністрації із вказівкою умов безпечного виконання таких робіт. Це положення відноситься до електро- і газозварних робіт, до промивання деталей при ремонті устаткування горючими розчинниками.

Для гасіння пожеж у спорудженнях використовують внутрішні пожежні крани, які встановлюються на стояках внутрішнього водопроводу.

Пожежні крани розміщують у нішах, шафах на видних і доступних місцях (у коридорах, на сходових клітках).

На дверцятах шафи пожежного крана повинні бути позначені:

- літерний індекс ПК;
- порядковий номер пожежного крана й номер телефону найближчої пожежної частини.

Вода прохолоджує зону горіння нижче температури самозапалювання й розбавляє горючі речовини до негорючого стану.

Гасіння пожеж в електроустановках, горіння лаків, фарб, розчинників, бензину, горючого або дизельного палива, двигунів внутрішнього згорання, автомобілів, а також особливо коштовних матеріалів і устаткування водою заборонено.

Піна використовується для гасіння загорянь всіх твердих речовин, які гасяться водою. Вона швидко припиняє доступ кисню до зони горіння. Тому піна ефективніше води. Створюється піна за рахунок хімічної реакції кислотної й лужної частин у спеціальному устаткуванні (машинах) і вогнегасниках.

Пісок використовується для гасіння пожежі на електроустановках під напруженням, різних рідин, карбіду кальцію, автомобілів, двигунів внутрішнього згорання. Пісок прохолоджує зону горіння, припиняє доступ кисню, ізолює й гальмує реакцію горіння.

При виникненні пожежі одночасно з гасінням організовується евакуація матеріальних цінностей та працівників, для чого використовується обслуговуючий персонал підприємства. У виробничих будівлях передбачаємо евакуаційні виходи, призначені для забезпечення безпечної евакуації людей, що перебувають в будівлі, у разі виникнення пожежі або аварії. Передбачаємо мінімум два евакуаційні виходи. Ширина всіх евакуаційних виходів (дверей) перевищує 0,8 м, що відповідає нормам [55]. Двері відчиняються у напрямі виходу із приміщень і будівель. Сходові марші обладнуємо пристроями, призначеними для видалення диму, зниження температури і концентрації продуктів горіння в зоні пожежі і суміжних із ним приміщеннях з метою забезпечення необхідних умов для евакуації працівників і роботи пожежних підрозділів. Цими пристроями є вікна і шахти димовидалення.

Пропозиції по організації гасінню пожежі при виникненні надзвичайної ситуації:

- провести розвідку та оцінити обстановку на пожежі;
- встановити наявність людей, яким загрожує небезпека, встановити напрямки та способи евакуації;
- прийняти міри до відключення електромережі;
- при виклику підрозділів пожежної охорони організувати їх зустріч, вказати місце пожежі, пояснити особливості планування будівлі, вказати місце розміщення пожежних гідрантів та пожежних водоймищ;
- допомогти працівникам пожежної охорони в діях по евакуації та захисту матеріальних цінностей.

ВИСНОВКИ

Запропоновані заходи щодо зменшення поздовжньої різнотовщинності при виготовленні широких штаб дозволять підвищити якість готової продукції. Це дасть змогу вітчизняним підприємствам гідно конкурувати як на зовнішніх так і на внутрішніх ринках металопродукції. В даний момент поздовжня різнотовщинність на ШСГП 1680 складає 0,15-0,30 мм, коли раціональна різнотовщинність повинна бути в проміжку 0,05-0,15 мм.

Заходи щодо зменшення поздовжньої різнотовщинності:

1. Регулювання міжвалеового зазору гідропаспором.
2. Прокатування штаб на широкоштабовому стані з прискоренням.
3. Застосування Койлбокс на проміжному рольгангу.
4. Додаткове обтиснення задньої кінцевої ділянки штаби.
5. Зменшення коефіцієнту тертя за допомогою мінеральної емульсії.
6. Збільшення температури заднього кінця.
7. Прискорення валків чистової групи.

Зменшення поздовжньої різнотовщинності сприятиме економії металу для виробника і збільшить вихід годної продукції. Економія ресурсів дозволить зменшити собівартість, що піде на користь національному машинобудуванню. В будівництві автомобілів це дозволить зменшити не тільки ціну, але й вагу автомобіля, що в свою чергу дозволить економити паливо.

Тому запропоновані заходи є економічно ефективними та мають впроваджуватися на металургійних підприємствах.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Хессенберг В.С., Дженкинс В.Н, Влияние уменьшения положения нажимного винта и регулирование скорости на толщину полосы и ее натяжение на непрерывных станах (пер. с англ. Ю.В. Коновалова) - Inst. Mech. Eng., 1955, v.169, p.1051.
2. Ткалич К.Н., Коновалов Ю.В. Точная прокатка тонких полос. - М.: Metallurgia, 1972. - 176 с.
3. Меерович И.М. Повышение точности листового проката/ Меерович И.М., Герцев А.И., Горелик В.С., Классен Э.Я. - М.: Metallurgia, 1969. - 264 с.
4. Железнов Ю.Д., Коцарь С.Л., Абиев А.Г. Статистические исследования точности тонколистовой прокатки. - М.: Metallurgia, 1974. - 240 с.
5. Сафьян М.М. Прокатка широкополосовой стали. - М.: Metallurgia, 1969. - 460 с.
6. Полухин В.П. Математическое моделирование и расчет на ЭВМ листовых прокатных станов. - М.: Metallurgia 1972.-512 с.
7. Николаев В.А., Путноки А.Ю. Прокатка широкополосной стали. - К.: Освига Украины, 2009. - 268 с.
8. Коновалов Ю.В. Технологические основы автоматизации листовых станов/ Ю.В. Коновалов, А.П. Воропаев, Е.А. Руденко и др. - К.: Техшка, 1981. - 128 с.
9. Остапенко А.Л. Снижение энергозатрат при прокатке полос/ А.Л. Остапенко, Ю.В. Коновалов, А.Е. Руднев, В.В. Кисиль. - К.: Техшка, 1983. - 223 с.
10. Николаев В.А., Матюшенко Д.А. Определение продольной разнотолщинности горячекатаных полос // Metall и литье Украины, 2007, №8.-С.20-22.
11. Николаев В.А. Расчет усилия при горячей прокатке// Изв. вузов. Черная металлургия, 2005, №11.- С. 24-30.
12. Николаев В.А., Матюшенко Д.А. Влияние обжатия в первой клетки

чистой группы ШСП на продольную разнотолщинность полос // *Металлургическая и горнорудная промышленность*, 2007, №5.-С.57-60.

13. Николаев В.А. Коэффициент и показатель трения при прокатке// *Изв. вузов. Черная металлургия*, 1984, №8. - С. 63-66.

14. Николаев В.А. Расчет истинного предела текучести при горячей прокатке// *Металлургическая и горнорудная промышленность*, 1999, №1. - С. 26-29.

15. Коновалов Ю.В., Налча Г.И., Савранский К.Н. Справочник прокатчика. – М.: Металлургия. 1977.– 312с.

16. Николаев В.А., Горячая прокатка полос и листов. – Запорожье, ЗГИА, 2004. – 158 с

17. Николаев В.А., Пилипенко С.С., Тилик В.Т. Натяжение и продольная разнотолщинность полосы на участке сварного шва // *Металлургия и коксохимия*, сб. 94. – К.: —Техніка. 1987. – С. 38 – 43.

18. Николаев В.А., Пилипенко С.С. Метод определения продольной разнотолщинности полосы. // *Теория и технология производства 260 листового проката*. МЧМ СССР, ИЧМ.-М.: Металлургия, 1991.- С.42-47.

19. Николаев В.А. К расчету коэффициента трения при горячей прокатке// *Изв. вузов. Черная металлургия*, 1984, №11.-С. 21-24.

20. Николаев В.А. Влияние химического состава стали на предел текучести при пластической деформации// *Металл и литье Украины*, 2000, №11,12. - С. 5-8.

21. Николаев В.А. Теория прокатки. - Запорожье, ЗГИА, 2007. - 228 с.

22. Коновалов Ю.В. Динамика продольной разнотолщинности горячекатаных полос в непрерывной группе клеток широкополосного стана горячей прокатки// *Листопркатное производство*, МЧМ. - М.: Металлургия, 1975, №9.-С. 54-59.

23. Николаев В.А., Матюшенко Д.А. Алгоритм расчета продольной разнотолщинности стальной полосы// *Сб. Металургія*, №15. - Запоріжжя, ЗДІА, 2008. - С. 115-119.

24. Зайков М.А. Режимы деформации и усилия при прокатке. - М.: Металлургия, 1960. - 229 с.
25. Коновалов Ю.В., Остапенко А.Л., Пономарев В.И. Расчет параметров листовой прокатки. Справочник. - М.: Металлургия, 1986. - 430 с.
26. Григорян Г.Г. Настройка, стабилизация и контроль процесса тонколистовой прокатки/ Г.Г. Григорян, Ю.Д. Железнов, В.А. Черный и др. - М.: Металлургия, 1975. - 358 с.
27. Динник А.А. Инженерные методы расчета давления металла на валки и крутящего момента при горячей прокатке на гладких валках// Обработка металлов давлением, ДМетИ. Научные труды ХБУШ. - М.: Металлургия, 1962. - С. 55-78.
28. Целиков А.И., Гришков А. И. Теория прокатки.- М.: Металлургия, 1979.-358 с.
29. Целиков А.И. Тория прокатки. Справочник/ Целиков А.И., Томленое А.Д., Зюзин В.И. и др. - М.: Металлургия, 1982. -335 с.
30. Шварцбарт Я. С. Состояние и перспективы развития теории расчета высокотемпературных напряжений течений металла// Теория прокатки. Материалы научно- технической конференции «Теоретические проблемы прокатного производства». - М.: Металлургия, 1975. С. 50 - 56.
31. Андреюк Л.В., Тюленев Г.Г. Аналитическая зависимость сопротивления деформации сталей и сплавов от их химического состава// Сталь, 1972, №9. - С. 825-828.
32. Николаев В.А. Напряжение течения металла при горячей деформации по различным методам// Изв. вузов. Черная металлургия, 2005, №6. - С. 32-33.
33. Воробей С.А., Левченко Г.В. Особенности расчета сопротивления деформации стали при непрерывной горячей прокатке// Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии. Сб. науч. тр. №6. - Днепропетровск, ИЧМ НАН Украины, 2003. - С. 191-196.