

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ФАКУЛЬТЕТ МЕТАЛУРГІЇ

КАФЕДРА ОБРОБКИ МЕТАЛІВ ТИСКОМ

(повна назва кафедри)

**Кваліфікаційна робота**

другий магістерський

(рівень вищої освіти)

на тему: «Дослідження технології прокатування штаб на неперервному стані гарячого прокатування 1680 в умовах ПАТ «Запоріжсталь» з метою підвищення якості продукції»

Виконав: студент 2 курсу, групи МЕТ-18-3мд

спеціальності 136

Металургія

(код і назва спеціальності)

освітньої програми обробка металів

ТИСКОМ

(код і назва освітньої програми)

спеціалізації

(код і назва спеціалізації)

С.В. Бараннік

(ініціали та прізвище)

Керівник доцент, к.т.н., Ю.В.

Бондаренко

(посада, вчене звання, науковий ступінь, підпис, ініціали та прізвище)

Рецензент доцент, к.т.н. Д.О. Кругляк

(посада, вчене звання, науковий ступінь, підпис, ініціали та прізвище)

Запоріжжя

2020



розрахункова частина; 3. Економічна частина; 4. Охорона праці та техногенна безпека; Загальні висновки; Література.

5 Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) Презентація до 15 слайдів (обов'язкові слайди з метою та задачами дослідження, методикою дослідження, результатами дослідження та висновки).

#### 6 Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	Бондаренко Ю.В., доцент		
2	Бондаренко Ю.В., доцент		
3	Бондаренко Ю.В., доцент		
4	Бондаренко Ю.В., доцент		

7 Дата видачі завдання \_\_\_\_\_

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналітично - пошукова частина		
2	Дослідницько-розрахункова частина		
3	Економічна частина		
4	Охорона праці та техногенна безпека		
5	Вступ, Загальні висновки, Реферат,		
6	Оформлення пояснювальної записки роботи		
7	Підготовки графічного матеріалу		

Студент \_\_\_\_\_ (підпис) \_\_\_\_\_ С.В. Бараннік (ініціали та прізвище)

Керівник роботи \_\_\_\_\_ (підпис) \_\_\_\_\_ Ю. В. Бондаренко (ініціали та прізвище)

### Нормоконтроль пройдено

Нормоконтролер \_\_\_\_\_ (підпис) \_\_\_\_\_ О. В. Явтушенко (ініціали та прізвище)

## РЕФЕРАТ

Магістерська робота складається зі вступу, 4 розділів, висновків та списку використаної літератури. Загальний обсяг роботи 107 сторінок, 17 рисунків, 19 таблиць та список використаних джерел з 29 позицій.

Випускна робота для здобуття ступеня вищої освіти магістра за спеціальністю 136 – Обробка металів тиском, науковий керівник Ю.В. Бондаренко. Інженерний інститут Запорізького національного університету. Факультет металургії, кафедра обробки металів тиском, 2020.

**Об'єкт дослідження** – неперервний широкоштабовий стан гарячої прокатки 1680 металургійного заводу ВАТ «Запоріжсталь».

**Мета роботи** – дослідження та вдосконалення режимів неперервної прокатки низьковуглецевих сталей НШСГП 1680.

**Метод розрахунків** – стандартні методики розрахунків в прокатному виробництві. Виконаний розрахунок раціональних режимів деформації і енергосилових параметрів прокатки штаби товщиною 2,2x1100 мм зі сталі 08пс на неперервному широкоштабовому стані гарячої прокатки 1680 до і після реконструкції, а також визначені показники поздовжньої різнотовщинності штаб.

**Отримані результати і їх новизна** – з метою зниження енергосилових параметрів прокатки та підвищення показників якості штаб у роботі пропонується збільшення швидкості в чорновій групі до 2,5 м/с. В результаті зміни температурно-швидкісного режиму прокатки у чорновій групі клітей є можливість підвищення температури кінця прокатки до 862 °С, що дозволить зменшити показники поздовжньої різнотовщинності та підвищити якість прокату.

**ПРОКАТКА, ДЕФОРМАЦІЯ, КЛІТЬ, ОБТИСК, ПРОКАТНІ  
ВАЛКИ, СИЛА ПРОКАТКИ, РІЗНОТОВЩИННІСТЬ, ОХОРОНА  
ПРАЦІ**

## РЕФЕРАТ

Магистерская работа состоит из введения, 4 глав, выводов и списка использованной литературы. Общий объем работы 107 страниц, 17 рисунков, 19 таблиц и список использованных источников из 29 позиций.

Выпускная работа для получения степени высшего образования магистра по специальности 136 - Обработка металлов давлением, научный руководитель Ю.В. Бондаренко. Инженерный институт Запорожского национального университета. Факультет металлургии, кафедра обработки металлов давлением, в 2020.

**Объект исследования** - непрерывный широкополосных стан горячей прокатки 1680 металлургического завода ОАО «Запорожсталь».

**Цель работы** - исследование и совершенствование режимов непрерывной прокатки низкоуглеродистых сталей НШСГП 1680.

**Метод расчетов** - стандартные методики расчетов в прокатном производстве. Выполнен расчет рациональных режимов деформации и энергосиловых параметров прокатки полосы толщиной 2,2x1100 мм из стали 08пс на непрерывном широкополосных стане горячей прокатки 1680 до и после усовершенствования, а также определены показатели продольной разнотолщинности полос.

**Полученные результаты и их новизна** - с целью снижения энергосиловых параметров прокатки и повышение показателей качества полос в работе предлагается увеличение скорости в черновой группе до 2,5 м/с. В результате изменения температурно-скоростного режима прокатки в черновой группе клетей появляется возможность повышения температуры конца прокатки до 862 ° С, что позволит уменьшить показатели продольной разнотолщинности и повысить качество проката.

**ПРОКАТКА, ДЕФОРМАЦИЯ, КЛЕТЬ ОБЖАТИЕ, ВАЛКИ, СИЛА ПРОКАТКИ, РАЗНОТОЛЩИННОСТЬ, ОХРАНА ТРУДА**

## ABSTRACT

The master's thesis consists of an introduction, 4 sections, conclusions and a list of used literature. 107 pages, 17 figures, 19 tables and a list of 29 sources used.

Graduation work for higher master's degree in specialty 136 - Metal processing by pressure, supervisor Yu.V. Bondarenko. Engineering Institute of Zaporizhzhya National University. Faculty of Metallurgy, Department of Metal Processing, 2020.

**The object of the study** is a continuous wide-scale condition of hot rolling of the 1680 metallurgical plant of JSC "Zaporizhstal".

**The purpose of the work** is to study and improve the modes of continuous rolling of low carbon steels NSHSGP 1680.

Calculation method - standard methods of calculation in the rolling industry. The calculation of the rational modes of deformation and power-power parameters of the rolling of the staff 2.2 x 1100 mm thick steel 08ps on a continuous wide-scale hot rolling condition 1680 before and after reconstruction, as well as the indices of the longitudinal dissimilarity of the staffs.

**The results obtained and their novelty** - in order to reduce the power parameters of rolling and improve the quality of the headquarters in the work is proposed to increase the speed in the draft group up to 2.5 m / s. As a result of changing the temperature-speed mode of rolling in the draft group of cages, it is possible to increase the temperature of the end of the rolling to 862 ° C, which will reduce the longitudinal thickness and improve the quality of rolling.

**ROLLING, DEFORMATION, CLAY, CLAMPING, ROLLING ROLLS, ROLLING FORCE, DIVERSITY, LABOR SAFETY**

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	9
1 АНАЛІТИЧНО-ПОШУКОВА ЧАСТИНА.....	10
1.1 Характеристика цеху гарячої прокатки тонкого листу .....	10
1.2 Технологічний процес прокатки на НШСГП 1680 .....	23
1.3 Аналіз недоліків і «вузьких місць» стану та розробка заходів щодо реконструкції .....	27
1.4 Вплив температурно-швидкісних режимів деформації на процес прокатки.....	30
1.5 Способи для компенсації заднього потовщення .....	32
2 ДОСЛІДНИЦЬКО-РОЗРАХУНОВА ЧАСТИНА.....	41
2.1 Причини утворення заднього кінцевого потовщення штаб .....	41
2.2 Зменшення потовщення задньої кінцевої ділянки за рахунок підвищення швидкості у чорновій групі .....	45
2.3 Розрахунок режиму деформації штаб на НШСГП 1680 після реконструкції (збільшення швидкості в чорновій групі до 2,5 м/с) .....	57
2.4 Розрахунок режиму деформації штаб на НШСГП 1680 до реконструкції (швидкість в чорновій групі 1,9 м/с) .....	74
3 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА.....	79
3.1 Розрахунок річної виробничої програми прокатного стану.....	79
3.2 Визначення витрат електроенергії до і після реконструкції .....	80
3.3 Розрахунок економії металу за рахунок зменшення різнотовщинності...83	
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА .....	85
4.1 Аналіз потенційно небезпечних и шкідливих чинників виробничого середовища ЦГПТЛ .....	85
4.2 Розробка заходів захисту від впливу небезпечних і шкідливих чинників виробничого середовища ЦГПТЛ .....	90

4.3 Заходи з електробезпеки .....	98
4.4 Заходи з пожежної та техногенної безпеки .....	100
4.5 Розрахунок струму, що проходить через тіло людини, при дотику до фазного проводу трифазної трьохдротової мережі з глухозаземленою нейтраллю .....	102
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	104
ЛІТЕРАТУРА.....	105



## ВСТУП

Одним з прогресивних видів прокатування є гарячекатана листова сталь, що прокатується на НШСГП. У Україні встановлено і працює два неперервні широкоштабові стани гарячого прокатування (стан 1680 в р. Запоріжжя і стан 1700 в р. Маріуполі), на яких удосконалиться технологія виробництва штаб, забезпечується отримання штабової сталі з високою якістю поперечного профілю і механічними властивостями металу.

На цих станах прокатують штаби завтовшки 1,5 – 8 мм, шириною 1000 – 1500 мм з маловуглецевих марок сталі. З неіржавіючих і легованих марок сталей прокатують також штаби завтовшки  $h > 3.5$  мм і вширшки  $B < 1300$  мм. Заготівкою для стану служать сляби завтовшки 120 – 160 мм, масою  $G = 5,5$  т і завдовжки  $l_{сл} = 4,5 - 4,7$  м прокатують штаби завтовшки  $h < 2.5$  мм (1000 мм), а із сляба масою  $G = 15$  т і завдовжки  $l_{сл} = 9 - 9,5$  м прокатують штаби завтовшки  $h > 2.5$  мм [1].

НШСГП 1680” ВАТ МК „Запоріжсталь” призначений для прокатки штаб товщиною 1,5-10,0 мм, шириною 860-1520 мм в рулонах, вагою до 14 т, зі швидкістю в останній кліті стана до 9,2 м/с, що забезпечує необхідну температуру кінця прокатки штаби. Цей стан обладнаний сучасними пристроями, системами контролю і регулювання точності поперечного та подовжнього профілів перетинів. Весь процес від початку і до кінця керується обчислювальними машинами в які включені локальні системи керування окремими операціями.

Але аналіз недоліків діючої технології показує необхідність дослідження та розробки раціональних режимів для подальшого удосконалення технології виробництва гарячекатаних штаб на НШСГП 1680.

## 1 АНАЛІТИЧНО-ПОШУКОВА ЧАСТИНА

### 1.1 Характеристика цеху гарячої прокатки тонкого листу

Цех гарячого прокатування тонкого листу призначений для отримання товарних і передільних рулонів і листів.

В даний час на НШСГП 1680 прокатують штаби одинарної (до 8 тонн) і подвійної (до 16 тонн) маси. Основна маса металу прокатується транзитом (тобто минувши нагрів в методичних печах). Приблизно 7-10 % металу прокатується після нагріву (підігріву) в методичних печах. Сляби подвійної маси прокатуються тільки транзитом.

Для забезпечення прокатування по схемі злиток-сляб-рулон (штаб подвійної маси) виконана модернізація чорнових клітей: встановлені регульовані приводи на чорнових клітях Дуо, №3, ; №4; вертикальних клітях №1, №2, і №3, а також система автоматична перебудова механізмів району чорнових клітей.

До складу цеху входять: ділянка методичних нагрівальних печей; неперервний широкоштабовий стан 1680; ділянка підготовки валів; гаряча листовідділка, включаючи ряд агрегатів для того, щоб порізати рулони на листи.

НТЛС 1680 складається з двох груп робочих клітей. До складу чорнової групи входять: чорновий окалиноломач (кліть «ДУО»), 4 робочі кліті "кварто" і три вертикальні кліті.

До складу чистової групи входять: чистовий окалиноломач і шість робочих клітей "кварто", а також летючі ножиці 25x1700 мм для обрізання переднього кінця штаби і 28x1550 для обрізання переднього і заднього кінців підкату .

Хвостова частина стану складається з наступного устаткування: моталок (6

шт.), транспортуючих рольгангів і конвеєрів, душуючого пристрою, двох підйомний – поворотних столів.

Для нагріву (підігріву) слябів використовуються чотирьохзонні дворядні методичні рекуперативні печі з торцевою посадкою і видачею.

Печі опалюються сумішшю доменного, коксівного і природного газів, а у разі відсутності природного газу – сумішшю коксівного і доменного газів.

Повітря необхідне для горіння, підігрівається в блоковому керамічному рекуператорі об'ємом 330 м<sup>2</sup> до температури від 550<sup>0</sup>С до 650<sup>0</sup>С. Продукти горіння від всіх печей відводяться по свинях в два димарі заввишки 15 метрів.

Посадка слябів в печі виробляється поплавець з відділенням слябів різних плавок і розмірів спеціальними прокладками. Сляби сідають як в гарячому, так і в холодному стані, за винятком окремих марок низьколегованих сталей, а також всіх високолегованих і неіржавіючих сталей, які сідають в печі тільки в холодному стані.

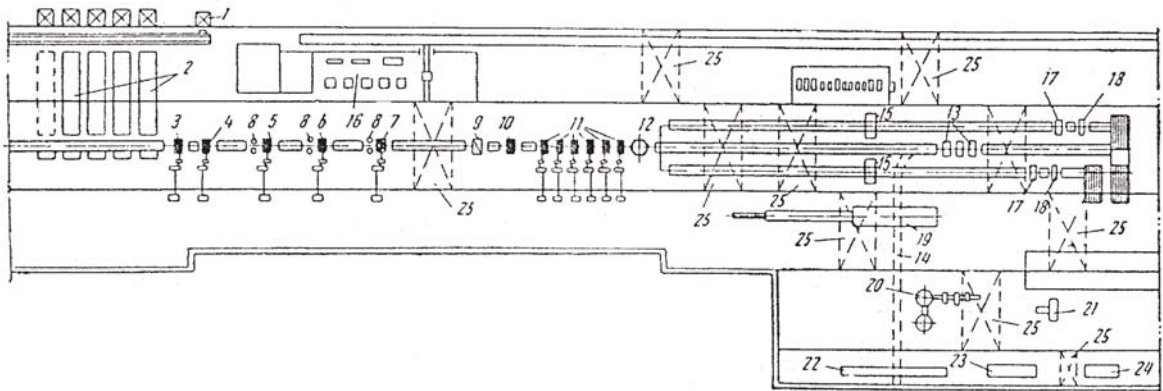
Підготовка валків до прокатування проводиться на спеціальній ділянці, включаючи 4 верстати для обдирання поверхні, огляду і ревізії подушок, а також стелажів для розбирання і збірки валків.

Гаряча листовідділка включає два агрегати поперечного різання, два агрегати подовжнього різання, агрегату періодичного труєння і інше допоміжне устаткування.

Агрегати поперечного різання призначені для того, щоб різати гарячекатані штаби в рулонах на листи завдовжки 1500-6000 мм.

Агрегати подовжнього різання призначені для отримання з рулонів шириною 1000-1500 мм товарних рулонів шириною 40-500 мм, а також для отримання заготовки для відділення гнутих профілів, пакувальної стрічки та ін.

Неперервний стан гарячого прокатування 1680, введений в експлуатацію в 1938 р., відновлений в 1947 р., в 1957 р., 2007 реконструйований. Схема розташування устаткування стану приведена на рис. 1.1.



1 – завантажувальний пристрій; 2 – нагрівальні печі; 3 – чорновий окалиноломач; 4 – чорнові чотирьохвалкові кліті; 5 – кліть з вертикальними валками; 6, 14 – летючі ножиці; 7 – чистовий окалиноломач; 8 – чистові кліті; 9 – пристрій для вимірювання товщини і ширини; 10 – моталки ; 11 – конвеєр для гарячекатаних ролонів; 12, 15, 17 – травильні машини; 13 – вальце шліфувальна майстерня; 16 – безперервна нормалізаційна піч; 18 – дресирувальна кліть; 19 – гартівна піч; 20 – лінія періодичного труть листів; 21 – мийний агрегат; мостовий кран.

Рисунок 1.1 - Схема розташування устаткування неперервного стана гарячого прокатування 1680

На стані (рис. 1.2) прокатують із слябів листи і штаби в рулонах з напівспокійних, киплячих, нестаріючих, вуглецевих, спокійних і низьколегованих завтовшки 2,0-6,0 мм і з неіржавіючих сталей завтовшки 3,0-10,2 мм на стані також виробляють підкат для жерсті і холоднокатаної листової і штабової сталі і гнутих профілів [1].

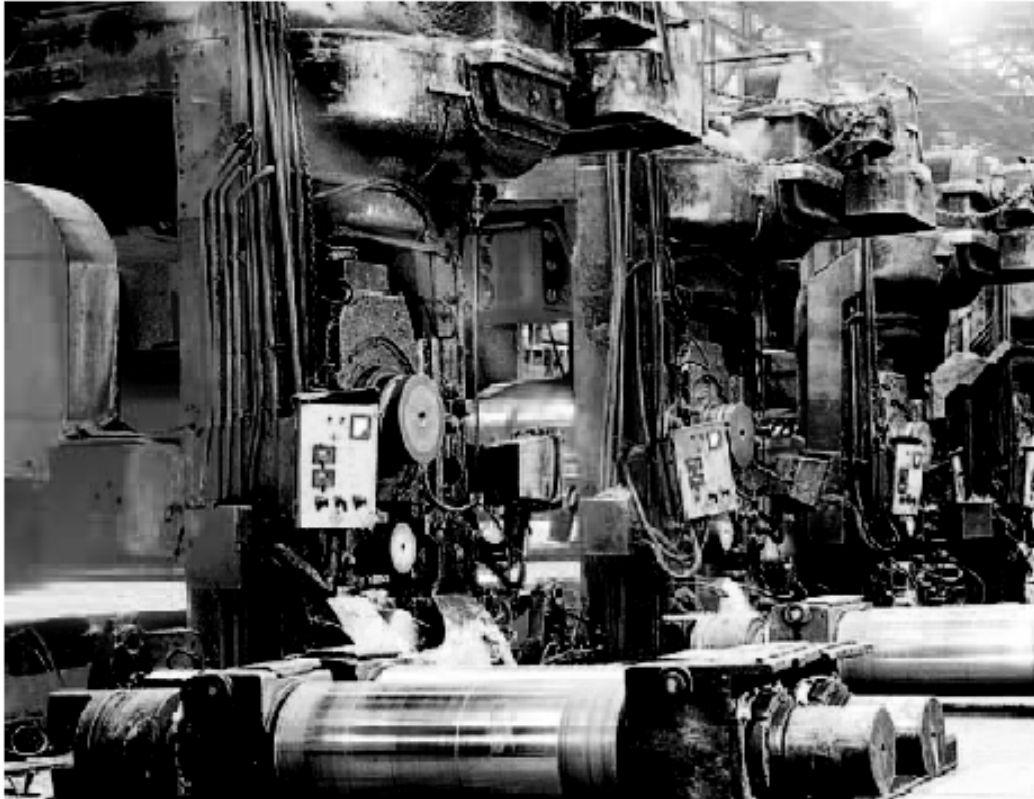


Рисунок 1.2 - Неперервний стан гарячого прокатування 1680

Неперервний тонколистовий стан 1680 складається з двох груп – чорнової і чистової.

До складу чорнової групи входять: одна двохвалкова кліть чорнової окалиноломач, чотири 4-хвалкових «кварто»(№№ 1, 2, 3 і 4) і три вертикальні (№№ 1, 2, 3) кліті (т.з. «еджери»).

До складу чистової групи входять: одна двохвалкова кліть (чистовий окалиноломач) і шість клітей (№№ 5, 6, 7, 8, 9,10), а також летючі ножиці 25x1700 мм для обрізання переднього кінця штаби (гуркоту) перед чистовою групою і 28\*1550 мм для обрізання переднього і заднього кінців штаби. Характеристика устаткування стану приведена в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Характеристика устаткування стану

Кліті	$i_p$	$N_{ел.дв.}$ МВт	Тип двигателя	$n_{ел.дв.}$ об/хв	$n_v$ об/хв	$v_{пр.}$ м/с	$L_{кл.}$ м
Д* <sup>2</sup>	23,99	1,84	ДСЗ-1810-12синхр.	500	21	0,99	-
№ 1	19,26	5,4	ДСЗ-19У-16-14 синхр.	428	22,2	1,02-1,09	6,25
№ 2	19,58	3,7	ДСЗ-1913-12 синхр.	500	25,5	1,05-1,13	21,0
№ 3	10,15	3,7	Теж	500	49,2	1,50-1,57	19,1
№ 4	7,36	3,7	- " -	500	68	2,08-2,17	25,49
№ 5	7,24	4,0/5,0	МП-6800-340 шунтовий (600/750)	270/500	37,4-69	1,16-2,2	58,77-6,19
№ 6	4,67	4,0/5,0	Теж	270/500	57,8-107	1,89-3,42	5,84
№ 7	2,75	4,0/5,0	- " -	270/500	98,2-182	3,3-5,78	5,84
№ 8	2	4,0/5,0	МП-6800-340 шунтовой (600/750)	270/500	135-250	4,16-7,93	5,84
№ 9	1,56	4,0/5,0	Теж	270/500	173-320	5,35-10,14	5,84
№ 10	1,41	4,0/5,0	- " -	270/500	191-354	5,9-11,25	5,84
Ч.О.* <sup>3</sup>	19,55	0,365	МП-6-500	250/750	12,9-38,6	0,396-1,23	58,77

Примітка. Станини всіх клітей закритого типу, матеріал – сталеве литво. \*<sup>1</sup> Число електродвигунів. \*<sup>2</sup> Двохвалкова кліть. \*<sup>3</sup> Чистовий окалиноломач.

Система противовигину робочих валів клітей №№ 8-10 призначена для регулювання форми і профілю гарячекатаних штаб шляхом оперативної зміни активної утворюючої валків і складається з 4-х гідростанцій з насосами, трубопроводу і іншого устаткування. Зусилля противовигину в кожній кліті створюється 4-мя гідродомкратами, встановленими в нижніх подушках робочих

валків [5]. Характеристика валків стану гарячого прокатування 1680 приведена в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 – Характеристика валків стану гарячого прокатування «1680»

Кліті	$i_p$	$N_{сл.дв,}$ МВт	Тип двигуна	$n_{сл.дв,}$ об/ хв	$n_v,$ об/хв	$v_{пр,}$ м/с	$L_{кл,}$ м	Натискний пристрій		
								$K^{*1}$	$N_{сл.дв,}$ кВт	$n_{сл.дв,}$ об/хв
Д* <sup>2</sup>	23,99	1,84	ДСЗ-1810- 12синхр.	500	21	0,99	-	2	9	900
№ 1	19,26	5,4	ДСЗ-19У-16-14 синхр.	428	22,2	1,02-1,09	6,25	1	50	875
№ 2	19,58	3,7	ДСЗ-1913-12 синхр.	500	25,5	1,05-1,13	21,0	2	34	580
№ 3	10,15	3,7	Теж	500	49,2	1,50-1,57	19,1	2	35	830
№ 4	7,36	3,7	- " -	500	68	2,08-2,17	25,49	2	35	830
№ 5	7,24	4,0/ 5,0	МП-6800-340 шунтовий (600/750)	270/500	37,4-69	1,16-2,2	58,77- 6,19	2	46	625
№ 6	4,67	4,0/ 5,0	Теж	270/500	57,8- 107	1,89-3,42	5,84	2	46	625
№ 7	2,75	4,0/ 5,0	- " -	270/500	98,2- 182	3,3-5,78	5,84	2	46	625
№ 8	2	4,0/ 5,0	МП-6800-340 шунтовий (600/750)	270/500	135- 250	4,16-7,93	5,84	2	46	625
№ 9	1,56	4,0/ 5,0	Теж	270/500	173- 320	5,35- 10,14	5,84	2	46	625
№ 10	1,41	4,0/ 5,0	- " -	270/500	191- 354	5,9-11,25	5,84	2	46	625
Ч.О.* 3	19,55	0,365	МП-6-500	250/750	12,9- 38,6	0,396- 1,23	58,77	2	8	1250

Таблиця 1.3 – Коротка характеристика вертикальних клітей

№ кліті	Діаметр валків, мм	Потужність мотору приводу, мм	Тип двигуна	Швидкість обертання валу двигуна, об/хв	Відносний обтиск, %	Передавальне число редуктора	Швидкість обертання валків, об/хв	Швидкість прокати, м/с
1	від 760 до 810	200	МП-6-275	від 400 до 800	1,5	37,5	від 10,7 до 21,4	від 0,42 до 0,90
2	від 760 до 810	200	МП-6-275	від 400 до 800	1	24,3	від 16,5 до 33	від 0,65 до 1,4
3	від 570 до 610	200	МП-6-275	від 400 до 800	від 0,5 до 0,75	15,3	від 26,1 до 52,3	від 0,78 до 1,67

До складу допоміжного устаткування входять: лівий і правий рольганг з шлепперним пристроєм; летючі ножиці з доданим устаткуванням для того, щоб різати гарячекатані штаби на листи, ножиці з нижнім різом; згущуючі машини №№ 1, 2 і 3, душуюча установка; моталки №№ 1-6 з кантуючими рулонів, приймальними візками, приймачами рулонів, конвейером і крокуючою балкою до них; відповідного конвейера; підйомно-поворотних столів; вагового рольганга з електронно-тензометричною системою зважування рулонів і приймального рольганга.

Летючі ножиці лівого і правого рольгангів; летючі ножиці призначені для різання штаб товщиною від 2 до 6 мм і вширшки від 850 до 1500 мм на листи завдовжки від 1500 до 6000 мм. летючі ножиці 25X1700мм для обрізання переднього і заднього кінців штаби. Ножиці (рис. 1.3) розташовані перед чистовою групою. Температура розрізання штаби – не нижче 900<sup>0</sup>С. Всі робочі кліті складаються із станини, валкової арматури, натискних і врівноважуючих пристроїв. Для обертання валків застосовується електричні двигуни, які передають обертальні рухи через редуктор на шестерінчасту кліть, з шестерінчастої кліті на шпинделя, а після чого на валки, які безпосередньо проводять прокату металу.



Таблиця 1.4 – Характеристика робочих клітей стану

№ кліті	Потужність приводу, кВт	Число обертів валків в хв.	Діаметр робочих валків, мм	Діаметр опорних валків, мм
<b>ГОРИЗОНТАЛЬНІ КЛІТІ</b>				
Чорновий окалиноломач	2000	500	900	-
1	6300	428	940	1320
2	4000	500	850	1240
3	4000	500	593	1240
4	4000	500	593	1240
Чистовий окалиноломач	365	250–750	620	1240
5	4000/5000	270/500	620	1240
6	4000/5000	270/500	620	1240
7	7000	340	620	1240
8	7000	340	620	1240
9	7000	340	620	1240
10	7000	340	620	1240
<b>ВЕРТИКАЛЬНІ КЛІТІ</b>				
1	200	400–800	810	-
2	200	400–800	610	-
3	200	400–800	610	-

Складальна кишеня призначена для збирання в пачки листи завдовжки від 1500 до 6000 м і вширшки від 710 до 1580 мм. Не допускається укладання в

одну пачку листів із штаб різних плавок. Вага пачки листів з однієї плавки повинна бути не більш 12 тонн.

Душуюча установка призначена для прискореного охолодження штаб. Тип охолодження – камерне. При цьому вода з ванн верхніх секцій подається на штаби по типу «водяної завіси», а з ванн нижніх секцій – по типу «водяного стовпа».

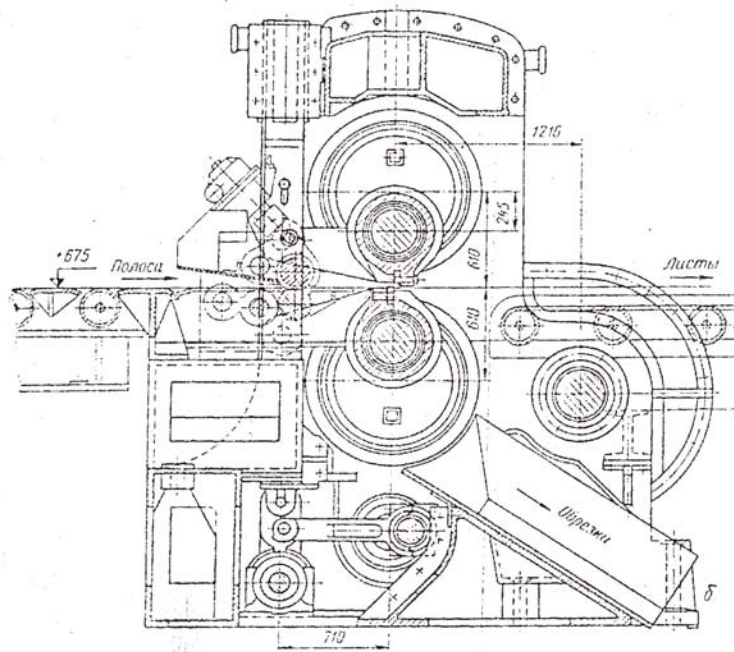


Рисунок 1.3 - Летючі ножиці

13-ти роликів правильна машина призначена для правки штаб. Швидкості правки від 1 до 2 м/с. Максимальна товщина листу для правки 3,25 мм

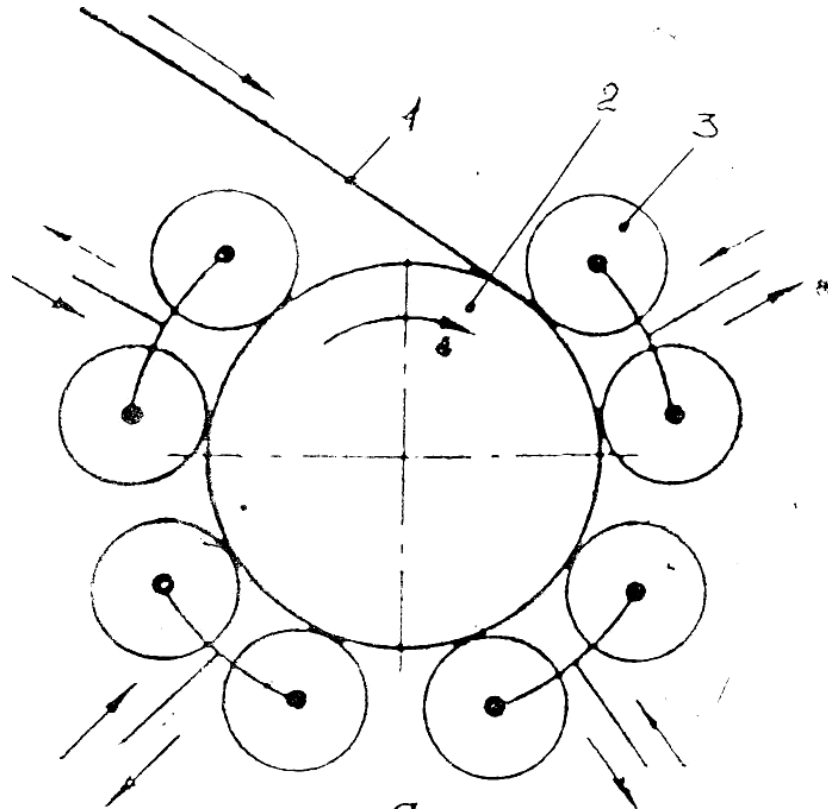
Ножиці з нижнім різом 10x1700 мм. Межа міцності розрізаючого листу не більш 65 кг/мм<sup>2</sup>. Товщина розрізаючого листу 10,2 мм; ширина розрізаючого листу 1520 мм; число різів в хвилину 12.

Згущуючі машини №№ 1-3. Максимальна ширина змотуваної штаби рівна 1524 мм; діаметр ролонів від 752 мм до 1194 мм. Швидкість змотуваної штаби рівна швидкості штаби, що виходить з 10-й кліті. Привід роликів

індивідуальний. Приймальна частина моталок складається з двох подаючих роликів діаметром 355 мм і завдовжки 1830 мм. Штовхач – пневматичний.

Моталки (рис.1.4) № 1-3 ролико-барабанні: товщина змотуючих штаб вуглецевих сталей від 1,7 до 9,0 мм. Товщина на змотуваних штабах легованих марок сталей від 2,0 до 4,0 мм. Ширина змотуваних штаб від 720 до 1550 мм. Максимальна вага рулону 15000 кг.

Зовнішній діаметр рулону 900-1600 мм. Температура змотування штаб 500-800<sup>0</sup>С. Швидкість змотування штаб 6-15м/с. Діаметр барабана–750мм. Довжина барабана - 2150 мм.



1 – штаба; 2 – барабан; 3 – формуючі ролики

Рисунок 1.4 - Схема ролико-барабаних моталок

Кантує рулонів моталок №№ 1-3: максимальна вага рулону – 15000кг; висота рулону 1530мм; діаметр-1400 мм. Час кантування з рулонів 7 секунд.

Приймальний візок моталок №№ 1-3: час переміщення від 7 до 10 секунд; кількість візків-2 штуки.

Крокуюча балка: кількість рулонів на балці - 6 штук; максимальні габарити рулону: діаметр зовнішні 1600 мм, висота 1530 мм, крок балки –1704 мм, швидкість переміщення 0,4 м/с.

Приймач рулонів конвеєра №1: час підйому і опускання по 4 секунди; максимальна вага рулону 18000 кг.

Моталки №№ 4-6 ролико-барабані: товщина змотуваної штаби від 1,8 до 6,0 мм, ширина від 600 до 1510 мм, максимальну вагу рулону-7500 кг, максимальна температура змотаної штаби 600 °С.

Кантує рулонів моталок №№ 4-6: час кантування 2,15 секунди; висота рулонів 720-1510 мм; діаметр рулонів 900-1300 мм.

Конвеєр від моталок до підйомно-поворотного столу: швидкість руху ланцюгів конвеєра від 4,5 до 9,0 м/хв; кількість ланцюгів 2 штуки.

Підйомно-поворотний стіл №1: час повороту столу на 90°-7,5 секунд; вантажопідйомність столу 25 тонн; хід столу 550 мм; швидкість задачі рулону на стіл від 4,5 до 9,0 м/хв.

Підйомно-поворотний стіл №2: швидкість руху ланцюгів конвеєра від 3 до 6 м/с, число ланцюгів-2 штуки, крок ланцюга –630 мм. Час повороту столу на 90°-7 секунд; вантажопідйомність столу 15 тонн; хід столу 570 мм.

Ваги призначені для автоматичного зважування рулонів з візуальним відліком ваги за шкалою циферблата і реєстрацією ваги на паперовій стрічці.

### *Сортамент і технічні вимоги до готової продукції НТЛС 1680*

Безперервний тонколистовий стан гарячого прокатування тонкого листу 1680 призначений для прокатування штаб від 1,5 до 10,0 мм і вширшки від 900 до 1520 мм.

Штаби з низьколегованих марок сталей прокатуються шириною не більш 1250 мм. Для виконання замовлень відділення гнутих профілів з маловуглецевих марок сталей дозволяється прокатувати штаби шириною до 1400 мм.

Товщина, ширина, форма і якість поверхні гарячекатаних штаб повинні відповідати вимогам ГОСТ 19903-93, ГОСТ 4041-91, ГОСТ 16523-97, ГОСТ 14637-89, а також технічним умовам і стандартам підприємства.

При поставці прокату по ГОСТ 16523-97 на поверхні гарячекатаних прокату не повинно бути полон, порізів, міхурів, заходів, тріщин, вкатаних чужорідних і металевих частинок. Розшарування не допускаються.

Нетрусна поверхня може зберігати не відділяється шар окалини, що допускає виявлення поверхневих дефектів.

При поставці прокату по ГОСТ 14637-89 на поверхні прокату не повинно бути дрантя, крізних розривів, скориночок, а також міхурів – роздутих, гармошки. Допускаються дефекти (рябізна, ризики і інші місцеві дефекти), що не виводять прокат за граничні розміри [22].

Фактичне граничне відхилення по ширині не повинне перевищувати +20-30 мм. Відхилення від площинної штаб товщиною від 2,0 до 3,9 мм не повинні перевищувати 15 мм, а для штаб товщиною від 4,0 до 9,0 мм – 12 мм на довжині 1 м стали, що поставляється в листах.



Рисунок 1.5 - Готова рулонна продукція

Телескопічність рулонів не повинна перевищувати 100 мм для штаб завтовшки 2,0 – 2,5 мм і 70 мм для штаб завтовшки 2,6- 9,0 мм.

Різготовщинність кромки, зміряна на відстані 5 і 40 мм від кромки, не повинна перевищувати 0,10 мм.

Різниця товщини між лівою і правою кромкою, зміряна на відстані 40 мм від кромки, не повинна перевищувати 0,06 мм.

Відхилення товщини штаб, що допускаються, від номінального значення приведені в таблиці 1.5.

Таблиця 1.5 – Граничні відхилення по товщині стали, що поставляється в листах і рулонах згодне ГОСТ 19903-94

Товщина штаб, мм	Граничні відхилення по товщині стали при ширині, мм			
	Понад 750 до 1000 мм		Понад 1000 до 1530 мм	
	Підвищена точність (клас А)	Нормальна точність (клас Би)	Підвищена точність (клас А)	Нормальна точність (клас Би)
Св.1,60 до 1,80вк	±0,14	±0,17	±0,14	±0,18
	±0,15	±0,17	±0,16	±0,18
Св.1,80 до 2,00вк	±0,16	±0,18	±0,17	±0,19
	±0,17	±0,19	±0,18	±0,20
Св.2,00 до 2,20вк	±0,18	±0,20	±0,19	±0,21
	±0,19	±0,21	±0,20	±0,22
Св.2,20 до 2,50вк	±0,21	±0,23	±0,22	±0,24
	+0,15	+0,30	+0,10	+0,30
Св.2,50 до 3,00вк	-0,40	-0,40	-0,50	-0,50
	+0,10	+0,20	+0,10	+0,25
Св.3,00 до 3,50вк	-0,60	-0,60	-0,60	-0,60
	+0,10	+0,20	+0,20	+0,30
Св.3,50 до 3,90вк	-0,80	-0,80	-0,80	-0,80
	+0,10	+0,20	+0,20	+0,30
Св.3,90 до 5,50вк	-0,80	-0,80	-0,80	-0,80

Окремі технічні вимоги до готового прокату повинні відповідати стандартам і технічним умовам на конкретні види прокату.

На стані виробляється прокатування штаб, з наступних марок стали:

- киплячі, напівспокійні, спокійні (наприклад 08кп, 3сп, 10пс);
- низьколегованих (наприклад 10ХНДП, 09Г2);
- високолеговані (ЭИ712, ЭИ659, 40Х3М2ФА);
- неіржавіючі стали (наприклад 12Х18Н10Т).

## 1.2 Технологічний процес прокатки на НШСГП 1680

Сляб поступає безпосередньо після прокатування на слябінгу (через похилий транспортер) або з складу слябів на верхній пічний рольганг, потім в методичні печі. Нагрів ведеться до температури  $1250^{\circ}\text{C}$ . Після чого сляб поступає на нижній пічний рольганг, далі на стан (рис. 1.6)



Рисунок 1.6 - Рух слябу по нижньому пічному рольгангу на стан гарячого прокатування 1680

Оскільки на безперервному тонколистовому стані всі 10 робочих клітей розташовані один за одним, прокатуваний метал рухається на стані суцільним потоком по одній лінії.

У чорновій групі стану розкат знаходиться одночасно тільки в одній кліті. Чорновий і чистовий окулиноломачі „зламують« окалину, яка потім віддаляється водою високого тиску. Крім того, чорновий окулиноломач як і робоча кліть, виробляє обжимання до 25%. Кліті з вертикальними валками забезпечують зняття розширення, одержуваного при деформації розкату горизонтальними валками [2].



Рисунок 1.7 - Рух штаби по клітях стану

Розкат з чорнової групи поступає на летючі ножиці для обрізання переднього і заднього кінця. Потім захоплюється валками чистової групи, а саме чистовим окулиноломачем і першою кліттю чистової групи. У чистовій групі штаба знаходиться одночасно у всіх клітях. Для забезпечення нормального процесу прокатування забезпечується рівність секундних об'ємів [3].

$$V_5 \cdot h_5 \cdot b_5 = V_6 \cdot h_6 \cdot b_6 \dots V_{10} \cdot h_{10} \cdot b_{10};$$



Оскільки ширина штаби практично не змінюється, та рівність секундних об'ємів виконуватиметься і виглядатиме таким чином:

$$V_5 \cdot h_5 = V_6 \cdot h_6 \dots V_{10} \cdot h_{10};$$

Таблиця 1.6 – Максимальні допускаючи обтиски по клітках чорнової групи залежно від ширини сляба

КЛІТЬ	Максимальні обжимання при плющенні вуглецевих і маловуглецевих сталей, %
	Ширина сляба 1250 мм
Дуо	25
№1	37
№2	40
№3	40
№4	40

Перед змотуванням в рулони штаба охолоджуються. Охолодження штаб в душуючій установці. Температуру змотування штаби оператор моталок регулює шляхом включення/виключення певної кількості верхніх і нижніх ванн душуючий установки.

Змотування штаби в рулони забезпечує щільне зчеплення витків рулону один до одного з телескопічністю в межах стандартів, технічних умов і стандартів підприємства.

Швидкість обертання роликів моталки, при змотуванні штаби, не перевищує швидкість прокатування в 10-й кліті.

Не допускається змотування штаб в рулони:

- за наявності наварів на роликах моталки;
- за відсутності води, що охолоджує ролики і барабан моталки;

- за відсутності натягнення при змотуванні;
- підстигнутих штаб завтовшки більше 5 мм з температурою менше 490<sup>0</sup>С;
- за наявності складок на смузі, заломленого переднього кінця штаби, наявності на смузі сторонніх предметів;
- за наявності ударів барабана об формуючі ролики;
- при виробленні роликів, що тягнуть і формують, більше 2 мм по діаметру.

Після змотування штаби рулон виштовхується штовхачем на кантувач і далі кантується на приймальний візок.



Рисунок 1.8 - Змотування штаби в рулони

Рулон на приймальному візку транспортується до конвеєра, де за допомогою приймача рулонів встановлюється на ланцюзі конвеєра.

Рулон по транспортуєчому конвеєру рухається до підйомно-поворотного столу №1. Після підйомно-поворотного столу №1 рулон, призначений для подальшого переділу в ЦГПТЛ, транспортується по поворотному конвеєру і поступає на транспортуєчий конвеєр в проліт складу рулонів [4].

### **1.3 Аналіз недоліків і «вузьких місць» стану та розробка заходів щодо реконструкції**

НШСГП 1680 був пущений в роботу в 1937 році і за час роботи потерпів як моральний збиток так і фізичний знос. У слідстві прогресу проводилась часткова, поетапна реконструкція. На даний момент часу відбувається як планування так і здійснення реконструкції на стані.

У 1994 р. на комбінаті вперше в практиці експлуатації широкоштабових прокатних станів упроваджене в промисловому масштабі «транзитне» прокатування слябів без попереднього підігріву в печах. Сьогодні за такою технологією прокатується 95 % слябів, а витрата палива понижена з 82,5 до 13,5 кг на тонну прокату.

Перехід на «транзитне» прокатування створив передумови для прямого прокатування слябів завдовжки 10-12 метрів і масою до 16 тонн. Для цього була модернізована чорнова група клітей тонколистового стану «1680» з перекладом електроприводу з змінного струму на постійний і організоване безперервне прокатування слябів в підгрупах чорнових клітей.

#### *« Вузькі місця » на НШСГП 1680*

1. Методичні печі. Габарити робочого простору печей дозволяють нагрівати сляби масою до 8 тонн. Наявність водоохолоджуваних глісажних труб приводить до зниження температури металу в місці контакту на 20 °С і більш. Глісажні труби залишають темні плями на нижній частині сляба. У слідстві цього може відбутися поломка валів, яка приведе до простою стану. На нижньому пічному рольганзі відсутня система ненаголошеної видачі слябів. Існуючі ре конструктори фізично і морально зношені і не забезпечують ефективного підігріву повітря. Відсутня система запобігання підсосам холодного повітря через вікна видачі, що приводить до охолодження правої

кромки слябів, що знаходяться на подіне печі перед видачею. Відсутня система автоматичного управління нагрівом. Наявність не опалювальної методичної зони не дозволяє збільшити продуктивність печі, особливо при гарячому посаді слябів. Нерівномірний нагрів слябів по товщині.

2. Чорнова група. Недостатня обтискна здатність еджерних клітей. Недостатня обтискна здатність робочих клітей, що не дозволяють збільшити товщину слябів. Відстань між робочими клітями не дозволяє прокатувати сляби масою більше 8 тонн без утворення безперервних підгруп. Відсутність ефективних засобів центрування розкату. Не ефективна система гідрозбиву окалини (низький тиск води: 8 – 10 атм.; застаріла конструкція сопів, не забезпечуюча рівномірну і достатню силу удару струменя; великі відстані від поверхні гуркоту до сопла: 300 – 450 мм замість 150 – 200 мм; фізичний знос устаткування). Відсутність шириноміру за чорною групою стану.

3. Проміжний рольганг і чистова група. Відсутня система узгодження швидкостей прокатування суміжних клітей. Відсутня система контролю і регулювання натягнення штаби, що приводить до зниження точності прокату і збільшення навантажень по клітях. Конструкція редуктора кліті 10 не дозволяє збільшити швидкість прокатування більше 9,2 м/с, що приводить до низької продуктивності. При русі гуркоту по проміжному рольгангу формується значний температурний клин на вході в чистову групу стану, особливо при плющенні рулонів подвоєної маси, що погіршує умову точності прокату. Існуючі системи противовигину робочих валів на клітях 8 – 10 з – за конструктивних особливостей не дозволяють збільшити зусилля противовигину більше 90 тонн. Існуючі системи противовигину тільки в ручному режимі управління і не забезпечують оперативного регулювання площини штаб. Відсутні засоби контролю площини прокатних штаб. Недостатня жорсткість станин робочих клітей чистової групи (400 – 450 т/мм). Високий темп прокатування і існуюча система охолодження робочих валів клітей чистової

групи обумовлює температуру валів до 80 – 90 °С, що не дозволяє використовувати робочі валки з сучасних зносостійких матеріалів. Фізико – хімічні показники води не дозволяють використовувати сучасні високоефективні системи охолодження і гідрозбиву. Існуючий швидкісний режим прокатування не забезпечує необхідну температуру кінця прокатування штаб завтовшки 2,7 мм і менш. При транзитному плющенні має місце нерівномірний розподіл температури по довжині гуркотів і в межах прокатуваної партії (плавки) штаб. Відсутні ефективні засоби для заощадження тепла металу прокатуваного способом транзитного прокатування. З – за відсутність системи міжклітьового охолодження штаби виробляється зниження швидкості прокатування на 10 – 30 % для забезпечення необхідної температури кінця прокатування товстих штаб (4 – 8) мм спеціального призначення. Відсутня система механізованого перевалювання робочих клітей чистової групи, що приводить до втрат виробництва і не забезпечує рекомендовані терміни міжперевалочного періоду роботи валів. Підвищене охолодження кромки штаб (гуркотів) при транзитному плющенні. Недостатня обтискна здатність 6 – клітьової чистової групи стану. Використовування роликів підшипників опорних валів. Використовування чавунних робочих валів недостатньої твердості (40 – 45 HRS). Недостатня довжина проміжного рольганга, що не дозволяє прокатувати сляби подвоєної маси на штаби завтовшки 2,5 мм і менш.

4. Відвідні рольганги. Велика (600 – 610 мм) відстань між роликами рольганга повинна бути (260 – 330 мм). Наявність суцільних плит (без роликів) над згущаючими машинами, що приводить до гальмування штаб і погіршення змотування штаб в рулони. Загальна довжина відвідних рольгангів значна і складає 237,5 метрів.

5. Душуюча установка. Витрата охолоджуючої води складає до 2600 м<sup>3</sup>/годину, що не забезпечує необхідну температуру змотуваних штаб

завтовшки 4 – 8 мм без зниження швидкості прокатування. При необхідності максимальної витрати води забезпечується регулювання температури на задніх кінцях штаб.

6. Моталки. Конструкція моталок застаріла і не забезпечує якісного змотування штаб завтовшки менше 2 мм. Для змотування штаб різної товщини застосовуються моталки в яких зазор між роликками, що тягнуть, встановлений усереднений для штаб різної товщини, що негативно впливає на якість змотування. Після змотування на моталках рулони транспортуються у вертикальному положенні, що приводить до травмування кромки.

#### **1.4 Вплив температурно-швидкісних режимів деформації на процес прокатки**

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

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

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

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

Підвищення температури кінця прокатки на 25 - 30 °С призводить до зменшення розміру зерна фериту на чотири бали, а границю текучості - на 20%. Стабілізація температури кінця прокатки по довжині штаби за рахунок розгону чистової групи клітей привела до практично рівномірного розподілу розмірів зерна фериту по довжині рулону. [8]

Численними дослідженнями рекомендується обмежити діапазон необхідних температур кінця прокатки для маловуглецевих сталей в межах 860-900°С. Експериментально отримані залежності границі текучості від температури кінця прокатки [21] дозволили визначити межі її зміни, в яких матеріал штаби, призначений для глибокої витяжки, має оптимальні фізико-механічні властивості: при температурі кінця прокатки 860°С величині відхилення допустимої межі плинності 13-15 МПа (1,3 - 1,5 кг/мм<sup>2</sup>), межа зміни температури кінця прокатки складає  $\pm (13-16 \text{ C})$  і  $\pm (11-14^\circ\text{C})$ .

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

температур по довжині штаб, що прокатуються на стані гарячої прокатки „1680” комбінату "Запоріжсталь", (25 - 27°C), пов'язаний з їх малою довжиною.

При збільшенні швидкості прокатки скорочується час перебування металу в чистовій групі, і, внаслідок цього, зменшуються втрати тепла за рахунок випромінювання і конвенції в міжклітинних проміжках і при контакті з робочими валками. Крім того, збільшення швидкості прокатки сприяє підвищеному тепловиділенню в результаті пластичної формозміни за рахунок росту опору деформації металу, що прокатується [22].

### **1.5 Способи для компенсації заднього потовщення**

Особливістю прокатки штаб на традиційних широкоштабових станах гарячої прокатки (ШСГП) є наявність потовщення  $h = 0,10 \dots 0,20$  мм на задній кінцевій ділянці готової штаби завдовжки 30.50 м. Поява потовщення обумовлена, головним чином, відсутністю дії на нього заднього натяжіння на всіх міжклітьових ділянках чистової групи ШСГП, що викликає збільшення середньої нормальної напруги, сили прокатки, пружних деформацій кліті і міжвалкового зазору.

Очевидно, що створити яким-небудь чином дискретний процес прокатки з наявністю заднього натяжіння кінця штаби не представляється можливим. У зв'язку з цим усунення потовщення на локальній задній ділянці штаби можливо тільки шляхом застосування локальної зовнішньої дії на дану ділянку. Відомо декілька способів дії на потовщену кінцеву ділянку штаби для компенсації відсутності заднього натяжіння [1-5], реалізація якої можлива на промислових станах:

- застосування нескінченного (напівнескінченного) процесу гарячої прокатки штаб на ШСГП;



- реалізація додаткового обтиску задньої кінцевої ділянки розкату (штаби) в процесі його прокатки;

- зменшення коефіцієнта тертя при прокатці заднього кінця штаби в останніх клітках чистової групи шляхом подачі на валяння технологічного мастила, наприклад в клітках №№ 6-10;

- застосування прискорення для обертання валків всіх клітей чистової групи ШСГП, починаючи з моменту, коли перед першою кліткою даної групи залишається 3. 5 м довжини проміжного розкату;

- збільшення температури задньої локальної ділянки проміжного розкату.

Можуть бути використані і приведені нижче технічні рішення [1]:

- відключення води гідрозбиву окалини в чистовому окалиноламачі при проходженні заднього кінця штаби завдовжки 3.4 м;

- прокатка заднього кінця штаби при короткочасному зменшенні кількості води, що подається на валяння клітей чистової групи;

- зменшення сили противигину (додаткового вигину) робочих валків в клітках чистової групи при прокатці заднього кінця штаби;

- використання розузгодження швидкостей робочих валків перших 2.3 клітей чистової групи шляхом зменшення швидкості попередніх клітей з метою збільшення напруги міжклітьового натягіння.

Проте кожен з перерахованих чотирьох методів робить незначний вплив на зміну товщини штаби і необхідне їх комплексне використання. Нижче виконаний аналіз ряду найбільш ефективних способів дії на штабу для зменшення приросту товщини її кінцевої ділянки.

1. У Японії [6] на трьох ШСГП з традиційною технологією прокатки в даний час використовують нескінченний процес прокатки штаб, при якому в нескінченному режимі прокатують 15.16 проміжних розкатів загальною довжиною до 1000 м, зварених встик на стикозварювальній машині перед чистовою групою, а потім декілька штаб піддають прокатки в періодичному

(індивідуальному) режимі з метою створення пауз між штабами для інтенсивного охолодження робочих валків. Цей спосіб спеціально розроблений і здійснений з метою ліквідації потовщених кінцевих ділянок штаб і забезпеченні економії металу.

Напівнескінченний процес прокатки застосовують також і на ШСГП, що працюють у складі ливарно-прокатних агрегатів [6-8], на яких прокатують проміжні розкати завдовжки 250.270 м. У цьому процесі при постійній температурі на вході розкату в кліті ШСГП температура штаби і її товщина на виході з чистової кліті при швидкості 20 м/с також будуть однаковими на довжині 3000.4000 м за винятком кінцевої ділянки завдовжки 30.40 м, прокатаного без заднього натягіння. При цьому можливі відносні втрати металу в обрізь будуть незначними.

У роботах [9-10] представлений інший спосіб зварки зістиківаних штаб в гарячому перебуванні на ШСГП, який в процесі прокатки здійснюють безпосередньо у осередку деформації. Ідея способу заснована на тому, що при стикуванні двох суміжних штаб перед входом в кліть і при проходженні стику усередині осередку деформації напрям перебігу металу кінцевих ділянок штаб має протилежний характер. Відповідно до закону найменшого опору перебіг металу заднього кінця першої штаби здійснюється по шляху найменшого опору до площині входу, а перебіг металу переднього кінця другої штаби – до площині виходу. При їх взаємному контакті в обмеженому об'ємі осередку деформації і виникненні необхідних горизонтальних сил відбувається процес зварювання торців штаб подібно до ковальської (гарячіше) зварки. Можливість виконання зварки металу тиском показана дослідженнями при холодній пластичній деформації, навіть за наявності окислених поверхонь штаб. При цьому умови схоплювання (зварки) визначаються міцністю і твердістю оксидів по відношенню до основного металу, а також величиною пластичної деформації, яка буде достатньою для максимального зближення чистих

поверхонь. Оскільки твердість оксидів вище за твердість основного металу при пластичній деформації відбувається руйнування оксиду і вихід чистого металу на поверхню. Руйнування оксиду настає тим раніше, чим більше відношення твердості оксиду до твердості самого металу ( $\phi$ ). Так, для алюмінію при  $\phi = 4,5$ , схоплювання (зварка) відбувається при пластичній деформації з відносним обтиском 60%, а для міді з  $\phi = 1,3$  з обтиском 86 % [11]. При зварці тиском на поверхнях заготовок, що сполучаються, і в прилеглих об'ємах металу, як правило, протікають наступні процеси: пластична деформація (у холодному або гарячому станах), формування і руйнування оксидних плівок, дифузія, зміцнення, рекристалізація і ін. Спочатку фізичний контакт забезпечується пластичною деформацією нерівностей на поверхнях, що сполучаються. Згладжуванню поверхонь може сприяти поверхнева дифузія і інші процеси. Швидкість хімічної взаємодії (утворення зв'язків), в основному, залежить від швидкості створення активних центрів на зближуваних поверхнях і дифузійних процесів в зоні зварки. У разі, коли тривалість, величина пластичної деформації і температура процесу зварки в твердому стані є достатніми для інтенсивного розвитку дифузійних процесів, в зоні з'єднання утворюються загальні зерна або нові фази. При зварці однорідних елементів критерієм закінчення процесу може служити рекристалізація, що приводить до утворення загальних зерен в зоні контакту. У разі пластичної деформації зістиківаних штаб з оплавленими торцями процес зварки істотно прискорюється. Випробування способу стикової зварки виконане при прокатці штаб товщиною 3,08 і 4,05 мм, шириною 30 мм на стані з діаметром валків 200 мм. Зразки нагрівали в силитовій печі до температури  $\sim 1200^{\circ}\text{C}$  і заздалегідь зістиківаними прокатували у валках з обтиском 30...40 %. Після прокатки зразки із сталі марки ст. 3пс, сполучені у осередку деформації (рис. 1.9), досліджували в ЦЗЛ ВАТ «Запоріжсталь»

Як видно з рис. 1.9, характер з'єднання зразків у 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 штаб. В умовах експерименту, коли відносна площа ділянок зварки штаб складала 10.12 %, а решта ділянок була зайнята окалиною, напруга розриву ділянки зварки досягає  $250.280 \text{ Н/мм}^2$  (у холодному стані). На відстані 6.13 мм від шва виявлена дрібнозерниста структура (бал  $> 10$ ), а далі від шва - відманштетової структура штаб (бал 3). Дрібнозерниста структура в області ділянок зварки свідчить про значні горизонтальні деформації штаб.



1 - перша штаба; 2 - друга штаба (нагріваючи до температури  $1200 \text{ }^\circ\text{C}$ )

Рисунок 1.9 – Дві штаби, зварені встик в процесі сумісної прокатки у валках (вигляд зверху)

2. Застосування додаткового обтиску задньої кінцевої ділянки розкату штаби в процесі його прокатки використовують на різних станах [1,2,7]. Проте для отримання в чистовій клітці ШСГП штаби без потовщення на кінцевій ділянці ( $\delta h_p = 0$ ) необхідно у всіх клітках стану застосувати фактичне сумарне додатковий обтиск в межах 2,0 мм, що за наявності тихохідних електромеханічних натискних пристроїв неможливо досягти. Тому кардинальним вирішенням даної проблеми служить установка в чистовій групі стану клітей з гідравлічними натискними пристроями (ГНУ), швидкість дії яких на штабу складає до 2,0 мм/с. Тоді інші способи дії на штабу самі по собі можуть бути зайвими. Інакше необхідно додатково обжимати задню ділянку штаби, очевидно, декількома способами.

3. Одним з параметрів, що визначають величину сили прокатки, є коефіцієнт тертя. Величина коефіцієнта тертя  $f$  в перших клітках чистової групи ШСГП складає 0,39...0,27, а в останніх трьох клітках – 0,26...0,20, зменшуючись у міру збільшення швидкості прокатки при зниженні відносного обтиску. Коефіцієнт тертя надає вплив на напружене полягання у осередку деформації через подовжню підпираючу напругу і входить у формули для розрахунку середньої нормальної контактної напруги [1, 13, 14]:

$$\delta_{cp} = \sigma_{\delta} \cdot [n_c \cdot (1 - \gamma/\alpha) + n_t \cdot (\gamma/\alpha)] + C_i \cdot f_n \cdot \frac{\ell_d}{h_{cp}}, \quad (1.1)$$

Як випливає з формули (1.1), при зниженні коефіцієнта тертя в 1,5 разу величина зменшується в 1,12 разу і є достатньою для помітного зниження приросту товщини на задній кінцевій ділянці за наявності технологічного мастила. Таке зменшення коефіцієнта тертя при гарячому прокатці досягається шляхом використання як мастила мінерального масла.

Застосування на ШСГП 1680 при гарячому прокатці штаб завтовшки 2,0.3,0 мм мінеральної емульсії забезпечує зниження сили прокатки на 4,3...12,2 % у кожній клітці. Розрахунки показують, що цього цілком достатньо для усунення приросту товщини штаби, оскільки відмінність сил при прокатці заднього і переднього кінців штаби після клітей № 6-8, як правило, не перевищує 10.15 %. Для реалізації даного способу дії на ділянку заднього кінця штаби всі клітці (окрім першої клітці чистової групи) необхідно оснастити спеціальними колекторами, а технологічне мастило транспортувати по спеціальних трубопроводах з цеху холодної прокатки штаб (промаслювач гарячекатаної штаби з безперервного травильного агрегату або емульсію з прокатного стану, у тому числі і відпрацьовану), але не виготовляти її спеціально в цеху гарячої прокатки. Оскільки технологічне мастило слід

подавати тільки на задню кінцеву ділянку з боку входу штаби у валки, то витрата мінерального масла не буде великою, і само масло повністю згоратиме при прокатці.

4. Застосування прискорення валків клітей чистової групи є загальноновизнаним способом зменшення товщини штаби. При прискоренні валків при прокатці заднього кінця штаба нагрівається на 7...10 С, зменшуються напруга перебігу металу і коефіцієнт тертя, що і викликає зниження середньої нормальної контактної напруги і сили прокатки. Так, при прокатці штаб 1,5x1050 мм на стані 2000 з прискоренням 0,05 м/с на довжині 550 м товщина штаби зменшується на 0,15 мм. Довжина потовщеної кінцевої ділянки штаб на ШСГП значно менше і складає всього 30.40 м, і при вказаній реальній величині прискорення і довжині ділянки зменшення його товщини може бути всього лише в межах 0,02 мм, що є явно недостатнім. Проте і цей спосіб доцільно випробувати в умовах працюючих ШСГП перших поколінь в тих випадках, коли є резерв збільшення швидкості прокатки в процесі обтиску даної штаби.

5. Підвищення температури заднього кінця розкату. При використанні в лінії між чорною і чистовою групами клітей ШСГП з традиційною технологією проміжного пристрою (ППУ) перемотування задній кінець штаби формується з гарячішого переднього кінця проміжного розкату. Проте, як показують експерименти, і за наявності ППУ на задній кінцевій ділянці відбувається  $h = 0,08...0,15$  мм унаслідок відсутності заднього натягіння штаби в клітях стану. В умовах такого технологічного процесу на ШСГП усунення потовщення заднього кінця штаби можливо шляхом локального додаткового нагріву двох-трьох внутрішніх витків проміжного розкату в рулоні, внаслідок чого зменшуються сила прокатки штаби, пружні деформації кліті і товщина штаби. При внутрішньому діаметрі рулону 600...650 мм 4.5 м. Ступінь усунення потовщення кінцевої ділянки визначатиметься температурою

додаткового нагріву даної локальної ділянки. Нижче представлені результати розрахунків параметрів прокатки заднього кінця проміжного розкату (сталь мазкі 08пс) завтовшки 24 мм на штабу завтовшки 2,5 мм в шести клітках (кліті №№ 5-10) ШСГП 1700 з діаметром робочих валків 600 мм у всіх клітках і швидкістю прокатки в кліті № 10 рівною 9,0 м/с. Задній кінець штаби прокатують без заднього натягіння. Приймаємо, що величина температури заднього кінця проміжного розкату складає 980 °С, а температура після додаткового нагріву на кінці проміжного розкату: 1000, 1020 і 1050 °С. Енергосилові параметри прокатки і зміна товщини готової штаби на задньому кінці розкату при вказаних температурах прокатки визначають по відомих залежностях. У сталому процесі прокатки передне і заднє натягіння складають 15 Н/мм<sup>2</sup>, а при прокатці заднього 0. Розрахункові параметри прокатки для базового встановивши кінця без натягіння фіксованою товщиною штаби на задньому кінці розкату при  $\delta h_{II} = 0$ ), а також параметри прокатки заднього кінця штаби в кліті № 10 при початковій температурі 1000, 1020 і 1050 °С заднього кінця проміжного розкату, представлені в таблиці. 1.7.

Таблиця 1.7 – Параметри прокатки штаби 2,5x1250мм з проміжного підкату НПР = 24 мм при різній температурі заднього кінця (для клітей 5-10)

Номер кліті	$h$ , мм	$f$	$P_{ср}$ , Н/мм <sup>2</sup>	$P$ , Мн	$M_{II}$ , МН/мм	$t_n$ , °С	$\delta h_{II}$ , мм
5	14,80	0,355	226	15,8	1,43	980	-
6	8,50	0,315	269	14,1	2,31	958	-
7	5,50	0,278	300	11,8	3,49	941	-
8	3,70	0,233	338	10,6	5,33	919	-
9	2,90	0,214	288	6,2	6,50	898	-
10	2,50	0,189	250	3,9	7,88	867	0
10	2,48	0,188	249	3,8	7,90	1000	-0,02
10	2,43	0,187	244	3,7	7,80	1020	-0,07
10	2,38	0,185	237	3,5	7,40	1050	-0,12

Примітка:  $t_n$  – початкова температура проміжного розкату

У першій частині таблиці 1.7 приведені параметри прокатки заднього кінця проміжного розкату в серійному режимі, тобто при його температурі рівною 980 °С. Товщина готової штаби заднього кінця прийнята рівною 2,5 мм. Як впливає з таблиці 1.7, коефіцієнт тертя, у міру зменшення товщини штаби, істотно зменшується унаслідок превалюючого впливу швидкості прокатки, що збільшується. При прийнятому режимі деформації сила прокатки зменшується від кліті до кліті, а модуль жорсткості штаби зростає від 1,43 до 7,88 МН/мм. При додатковому нагріві внутрішніх витків проміжного розкату до температури 1000, 1020 і 1050° С, сила прокатки і модуль жорсткості штаби знижуються, що обумовлює зменшення приросту товщини задньої кінцевої ділянки готової штаби на - (0,02.0,12) мм (останні три рядки в таблиці 1.7). Таким чином, для зменшення приросту товщини задньої кінцевої ділянки готової штаби необхідно здійснити попередній підігрів 2...3 внутрішніх витків рулону проміжного розкату додаткові на 50...70° С. Для реалізації вказаного підігріву внутрішніх витків рулону проміжного розкату при його розмотуванні у внутрішню порожнину рулону вводять стрижень з водоохолоджуванім індукційним нагрівачем, захищеним від ударів витками розкату, з потужністю, достатньою для нагріву металу до необхідної температури. Після закінчення розмотування стрижень прибирають з лінії ролгангу для прийому нового рулону. Підвищена температура розкату забезпечує зменшення товщини штаби і усунення потовщеної кінцевої ділянки. Таким чином, з аналізу виходить, що локальна ділянка потовщення заднього кінця штаби може бути усунений тільки локальною дією однією (або декількома) з приведених методів. Можливо, існують інші методи дії на локальну ділянку довжини штаби, але і приведені вище, на наш погляд, є реальними для застосування в промислових умовах.



## 2 ДОСЛІДНО-РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА

### 2.1 Причини утворення заднього кінцевого потовщення штаб

Подовжня різнотолщинність штаб обумовлена зміною міжвалкового зазору внаслідок дії змінної сили прокатки, модуля жорсткості кліті і штаби. При постійному значенні модуля жорсткості штаби ( $M_{п} = \text{const}$ ) приріст товщини штаби визначається виразом [3, 4]:

$$\delta h_{п} = \Delta P_i / M_{кл}$$

де  $\Delta P_i$  – різниця між великими і мінімальними силами;

$M_{кл}$  – модуль жорсткості кліті.

Модуль жорсткості кліті залежить від розмірів стану і ширини штаби і за даними [1-7] для клітей безперервних станів гарячої прокатки рівні ( $M_{кл}$ , МН/мм): стан 1680 - ЗМК - 3,06 ... 3,62. [3]. Приймаємо  $M_{кл} = 3,35$ .

Точність подовжнього профілю штаб прокатуваних на існуючих ШСГП залежить від постійності умов процесу прокатки. Будь-які зміни технологічних параметрів приводить до зміни величини зусилля прокатки, міжвалкового зазору і товщини штаби по довжині.

Для підвищення подовжньої точності штаб застосовуються різні системи автоматичного регулювання, технологічні методи і пристрої, що дозволяють певною мірою зменшити подовжню різнотовщинність. Проте повністю усунути негативний вплив температурного перепаду по довжині прокатуваної штаби, а також відсутність при прокатці кінців штаби повного натягнення не представляється можливою. Внаслідок цього товщина заднього кінця штаби виявляється на  $\delta h_{п} = 0,05-0,25$  мм більше номінальної товщини ( $\delta h_{п}$  – подовжня різнотовщинність). Подовжня різнотовщинність на решті локальних ділянок (передній кінець штаби, ділянка глісажних труб,

коливання температури і механічних властивостей металу, биття валків) істотно менша ( $\delta h_p = 0,02-0,12$  мм).

На рис. 2.1. показані дані вимірів товщини штаб прокатаних по різних способах (1,2 – прокатка без використання ППУ, 1 – штаба з головного сляба; 2 – штаба з донного сляба; 3 – прокатка із застосуванням ППУ «Coil-box»). Характер зміни товщини пов'язаний з напрямом температурного перепаду по довжині штаби.

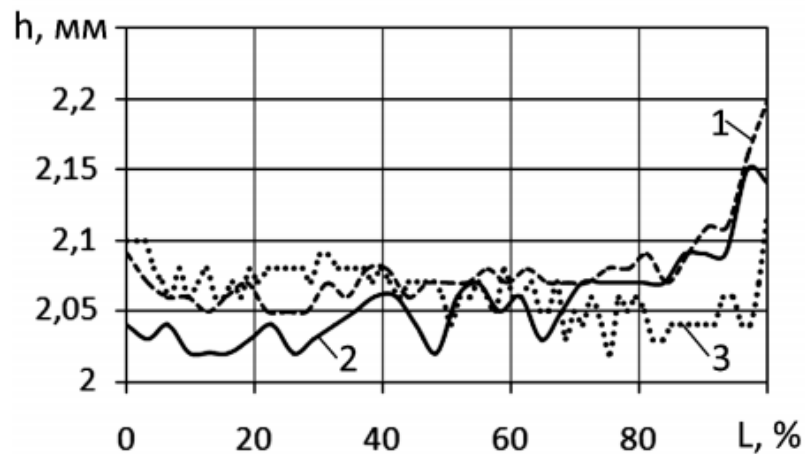


Рисунок 2.1 – Результати вимірів товщини готових штаб: 1 – штаба прокатана з головного сляба; 2 – штаба прокатана з донного сляба; 3 – прокатка із застосуванням ППУ (сляб подвійної довжини)

З рис. 2.1 також видно, що застосування ППУ повністю не усувають подовжню різнотовщинність штаби. Подовжня різнотовщинність штаб і листів – є різниця між товщиною штаби на потовщеній ділянці ( $h_k$ ) і номінальною (мінімальною) фактичною товщиною (рис. 2.2):

$$\delta h = h_k - h_n.$$

Температурний режим прокатки розрахований з використанням рекомендацій з робіт [1-3], зусилля прокатки, крутного моменту і потужності прокатки розраховані по моделях [4, 5], а подовжня різнотовщинність штаб визначена з використанням залежностей [6-9].

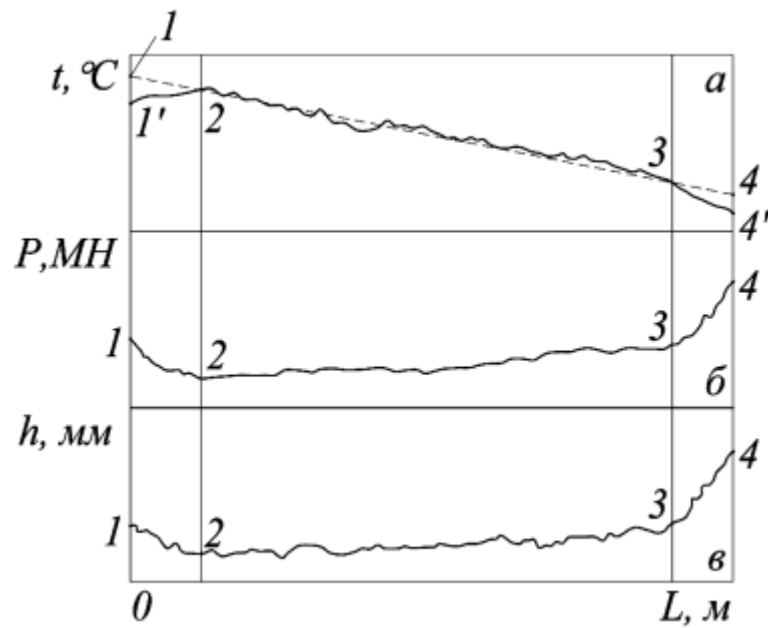


Рисунок 2.2 – Зміна температури (а), зусилля прокатки (б) і товщини (в) по довжині штаби

При теоретичному розрахунку подовжньої різнотовщинності штаби необхідно враховувати, що по її довжині одночасно змінюються товщина, температура, зусилля прокатки і модуль жорсткості штаби. Визначення фактичних (розрахункових) значень параметрів прокатки на ділянках 1, 3, 4 здійснюється шляхом використання ітераційного процесу, щодо номінальної товщини на ділянці 2 передні кінці штаби (рис 2). Приріст товщини штаби на ділянках 1, 3, 4 визначається, по виразу [9]

$$\delta h_i = \frac{P_i - P_2}{M_k + \delta M_{\Pi}},$$

де  $M_{\Pi}$  – модуль жорсткості штаби. Параметр  $\delta M_{\Pi}$  визначають з виразу

$$\delta M_{\Pi} = M_{\Pi i} - M_{\Pi 2},$$

де  $M_{п2}$  і  $M_{пi}$  – модулі жорсткості штаби на ділянці 2 і будь-якій іншій ділянці довжини штаби. При теоретичному розрахунку зусилля  $P_i$  і параметр визначають шляхом ітерування виразу. У першій ітерації параметр  $P_i$  розраховується виходячи з номінального значення товщини штаби  $h_2$ . У кожній подальшій ітерації товщина  $h_i$  збільшується на значення параметра  $i$ , отриманого в попередній ітерації. Розрахунок проводили до тих пір, поки різниця між параметрами  $\delta h_i^n$  і  $\delta h_i^{n-1}$  виявлялася рівною  $\Delta = \pm 0,003$  мм. Після цього переходили до розрахунку наступної кліті. Використовуючи вищеописану модель, для умов прокатки штаби 2x1250 мм з одинарних слябів на ШСПП 1680 ВАТ МК «Запоріжсталь», розглянутий вплив на подовжню різнотовщинність:

- довжини задньої кінцевої ділянки підданого додатковому обтисканню;
- зменшення коефіцієнта тертя при прокатці заднього потовщеного кінця.

Швидкість переміщення механічних натискних пристроїв, вживаних на даному стані складає 0,13 мм/с при неодруженому русі і 0,07 мм/с при русі під навантаженням. На стані застосовують додатковий обтиск задньої кінцевої ділянки за жорсткою програмою (по продуктиметру): кліть №6  $S_{d6} = 0,22$  мм; кліть №7  $S_{d7} = 0,34$  мм;  $S_{d8} = 0,27$  мм;  $S_{d9} = 0,18$  мм. Це переміщення натискних пристроїв явно недостатньо для усунення подовжньої різнотовщинності. З огляду на те, що величина додаткового обтиску на даному стані обмежена низькою швидкістю переміщення натискних гвинтів, додатковий обтиск слід виконувати на більшій довжині заднього кінця штаби в порівнянні з існуючим режимом. На рис. 3. представлені розрахункові дані по дослідженню довжини ділянки заднього кінця розкату, що додатково обжимається, на подовжню різнотовщинність на ділянці 4. Додатковий обтиск виконували на задньому кінці розкату в клітях №№ 5 – 9 стану. Час роботи натискних гвинтів, і відповідно, максимальна величина додаткового обтиску заднього кінця визначалося довжиною ділянки, що обжималася.

Початок переміщення натискних гвинтів виконували при різних значеннях довжини  $L_{д.о.}$  ділянки, що додатково обжимається. З рис. 3 видно, що практично повне усунення подовжньої різнотовщинності ( $\delta h_{п/h} = 0,005$ ,  $\delta h = 0,011$  мм) на задньому кінці спостерігається у тому випадку, коли додатковий обтиск штаби починають виконувати, починаючи з середини довжини розкату в клітках №№5-9. В цьому випадку ділянка 4 штаби отримує сумарну фактичну додаткову деформацію у вказаних клітках  $\sum \Delta h_d = 2,58$  мм.

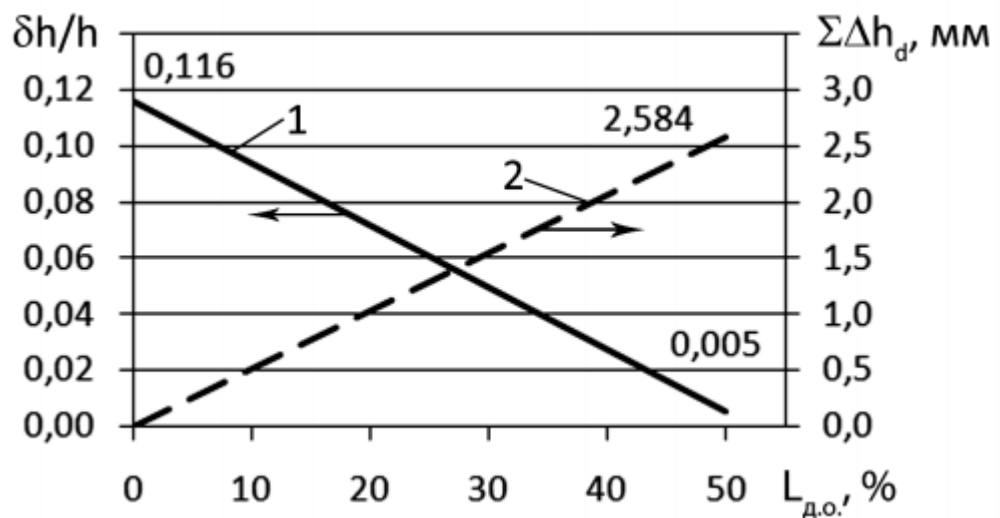


Рисунок 2.3 – Зміна величини  $\delta h_{п/h}$  готової штаби (1) і сумарного додаткового обтиску  $\sum \Delta h_d$  розкату в клітках №№ 5-9 (2) від довжини ділянки  $L_{д.о.}$ , що обжимається.

## 2.2 Розрахунок режиму деформації штаб на НШСГП 1680 зі швидкістю в чорновій групі 1,9 м/с

Приймаємо швидкість прокатки в кліті 4  $V = 1,9$  м/с, в кліті 10  $V = 9,2$  м/с. Єдиним безперервним процесом зв'язані кліті 2-3, 3-4, 5-10.

Визначаємо швидкість в попередніх клітках за формулою (поширення  $\Delta v = 0$ )

$$V_{i-1} = V_i h_i / h_{i-1}$$

де  $i$  – номер кліті,

$V_i$   $h_i$  – відповідно швидкість прокатки та товщина штаби в попередній кліті безперервної групи.

На основі закону постійності секундних об'ємів металу (при випередженні  $S = \text{const}$ ) визначаємо швидкість в попередніх клітях.

Так, для кліті 5 безперервної групи швидкість прокатки буде дорівнювати:

$$V_5 = V_6 \times h_6 / h_5 = 2,3 \times 8,79 / 14 = 1,45 \text{ м/с}$$

Аналогічно визначаються швидкості валків для залишених клітей. Температуру металу по клітям різних ШСГП можна визначити по теоретичним чи емпіричним формулам, які приведені в роботі [2].

При періодичної прокатки штаб в окремо розташованих клітях ШСГП 1680 падіння температури складає:

Окалиноломач – кліть 1-5 °С; кліті 1-2 - 15 °С; кліті 2-3 - 20°С; кліті 3-4 - 40°С.

При установці в чорновій групі останніх трьох клітях в виді безперервної підгрупи (відстань між клітями 10-11м) загальне падіння температур складає 30-50°С. Зниження втрат температур проходить за рахунок зменшення часу переміщення рас кату від однієї кліті до другої. При транзитної (прямій) прокатці слябів на ШСГП 1680 температура поверхні сляба перед станом, в основному складає  $t = 1160-1200^\circ\text{C}$ , а після кліті 4  $t_4 = 1060-1100^\circ\text{C}$ .

Розрахунок падіння температури в клітях чорнової групи.

$$\Delta t \approx 0,0021 (t_{i-1} + 273 / 100)^4 \times (\tau_{i-1} / h_{i-1})$$

де  $t_{i-1}$  – температура металу в попередньому проході, °С

$\tau_{i-1}$  – машинний час прокатки в попередньому проході та час паузи,  
°C

$h_{i-1}$  – товщина розкату, мм

Температура в послідуєчому проході

$$t_1 = t_{i-1} - \Delta t_i$$

Приймаємо температуру розкату  $t_{i-1} = 1180$  °C, відстань між  
окалиноломателем та кліттю  $t_{i-1} = 10$ м, швидкість прокатки в  
окалиноломателі  $V = 1$ м/с.

$$\tau_{i-1} = L_{i-1} / V_{i-1}$$

$$\Delta t_1 = 0,0021(1180+273/100)^4 (6,25/140) = 4^\circ\text{C}$$

В результаті охолодження сляба на гідросбиві, його температура знижується  
на  $\Delta t_r = 10^\circ\text{C}$ .

$$t_1 = t_{i-1} - \Delta t_i - \Delta t_r = 1180 - 4 - 10 = 1166 \text{ }^\circ\text{C}$$

Для кліті 2 отримуємо:

$$\tau_2 = 20 / 1,05 = 19,05 \text{ с.}$$

$$\Delta t_2 = 0,0021(1166+273/100)^4 (19,05/95) = 18^\circ\text{C}$$

$$t_2 = 1166 - 18 = 1148^\circ\text{C}$$

Для кліті 3 отримуємо:

$$\tau_3 = 19 / 1,25 = 15,2 \text{ с.}$$

$$\Delta t_3 = 0,0021(1146+273/100)^4 (15,2/63) = 21^\circ\text{C}$$

$$t_3 = 1151 - 21 = 1127^\circ\text{C}$$

Для кліті 4 отримуємо

$$\tau_4 = 65 / 1,9 = 34,2 \text{ с.}$$

$$\Delta t_4 = 0,0021(1122+273/100)^4 (34,2/28) = 38^\circ\text{C}$$

$$t_4 = 1133 - 38 = 1089^\circ\text{C}$$

Падіння температури металу по клітям чистової групи при прокатці штаб приблизно визначається з виразу:

$$t_i = t_{\text{ПК}} - \frac{(t_{\text{ПК}} - t_{\text{К}})}{\frac{h_{\text{ПК}}}{h_{\text{К}}} - 1} \left( \frac{h_{\text{ПК}}}{h_i} - 1 \right),$$

де  $t_{\text{пр}}$  – температура розкату перед кліттю чистової групи,  $^\circ\text{C}$  ( $t_{\text{пр}} = 1065^\circ\text{C}$ );  $h_i$  – товщина штаби в клітях чистової групи.

$$t_6 = 1025^\circ\text{C}; t_7 = 991^\circ\text{C}; t_8 = 939^\circ\text{C}; t_9 = 887^\circ; t_{10} = 852^\circ\text{C}$$

Результати розрахунку режиму деформації та температурно-швидкісного режиму представлені у табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Режим деформації штаби  $2,2 \times 1100$  мм зі сталі 08 кп.

№ клітей	H, мм	h, мм	$\Delta h$ , мм	$\varepsilon$ , %	v, м/с	t, $^\circ\text{C}$
Чорнова група						
Дуо	165	140	25	15	0,85	1180
1	140	95	45	32	1,05	1166
2	95	63	32	34	1,25	1148
3	63	40	23	37	1,33	1127
4	40	28	12	30	1,9	1089



*Розрахунок енергосилових параметрів прокатки*

Визначаємо енергосилові параметри прокатки для профілю 2,2x1100 мм 08 кп за умовами доведеним у таблиці 1.

Кліть 1.

Довжина дуги контакту, фактор форми осередку деформації та швидкість деформації дорівнюють:

$$\ell d = \sqrt{R \times \Delta h} \text{ ;}$$

$$\ell d = \sqrt{470 \times 25} = 145,43 \text{ мм;}$$

$$h_{cp} = 0,5 (H + h);$$

$$h_{cp} = 0,5 (140 + h) = 117,5 \text{ мм;}$$

$$u = \frac{v \times \varepsilon}{\ell d} \text{ ;}$$

$$u = \frac{1050 \times 0,32}{145,43} = 2,32 \text{ с}^{-1}$$

Межа текучості металу (сталь марки 08 пс) визначимо по величині вуглецевого еквівалента (вираження (1.27)-(1.29) з [3], в залежності від швидкості деформації та групи марки сталі по [3]. Хімічний склад, %: 0,08 С, Si 0,03, 0,37 Mn, 0,02 Gr, 0,06 Ni, а вуглецевий еквівалент дорівнює (%) [3].

$$Ni = 0,08 + 0,03 + 0,37 + 0,02 + 0,06 = 0,56.$$

Базова межа текучості по формулі з [3] дорівнює:

$$\sigma_{T0} = 80 + 25 [1 - \{ (5 - Ni) / 4,5 \}^{1,8};$$

$$\sigma_{T0} = 80 + 25 [1 - \{ (5 - 0,56) / 4,5 \}^{1,8} = 81 \text{ Н/мм}^2.$$

Використовуючи данні таблиці 1.5.1 одержуємо:

$$(u < 10c^{-1}) [3];$$

$$k_t = 1,66 - 1,1(t / 400 - 2)^{0,7};$$

$$k_t = 1,66 - 1,1 (1166 / 400 - 2)^{0,7} = 0,63;$$

$$k_\varepsilon = 1 + 0,43 [ 1 - 6,3 (0,5 - \varepsilon)^2];$$

$$k_\varepsilon = 1 + 0,43 [ 1 - 6,3 (0,5 - 0,32)^2] = 1,34;$$

$$k_u = 0,22 + 0,072 (7 + \ln u);$$

$$k_u = 0,22 + 0,072 (7 + \ln 2,32) = 0,89.$$

Визначаємо межу текучості.

$$\sigma_T = \sigma_{T0} \cdot k_t \cdot k_\varepsilon \cdot k_u;$$

$$\sigma_T = 81 \cdot 0,63 \cdot 1,34 \cdot 0,89 = 60 \text{ Н/мм}^2.$$

Визначаємо середній тиск.

$$P_{cp} = \sigma_{cp} (1 + 0,48 \times f_n \times \ell d / h_{cp}).$$

$$f_n = f_0 \times k_B \times k_T \times k_V \times k_{cm} \times k_\varepsilon;$$

$$f_0 = 0,27 - 0,1(1166 / 400 - 2)^2 = 0,19;$$

$$k_t = 1 + 0,43 (1 - \text{HSD} / 65)^2;$$

$$k_t = 1 + 0,43 (1 - 45 / 65)^2 = 1,04;$$

$$k_v = 0,76 + 0,82 (1,02 - 0,102 \times v)^2$$

$$k_v = 0,76 + 0,82 (1,02 - 0,102 \times 1,05)^2 = 1,44;$$

$$f = 0,19 \times 1,04 \times 1,44 \times 1,01 = 0,28.$$

де  $k_B = 1$ ;  $k_M = 1$ ;  $k_{cm} = 1$ ;  $k_\varepsilon = 1,01$ .

$$f_n = f (0,92 + 1,27\varepsilon);$$

$$f_n = 0,28 \times (0,92 + 1,27 \times 0,32) = 0,37;$$

$$p_{cp} = 1,15 \times 60 (1 + 0,48 \times 0,37 \times 1,24) = 85 \text{ Н/мм}^2.$$

Сила прокатування по формулі

$$P = p_{cp} \times \ell d \times B_{cp};$$

$$P = 85 \times 0,145 \times 1,1 = 13,58 \text{ МН.}$$

Визначаємо коефіцієнт положення рівнодіючих сил  $\Psi$ .

$$\Psi = 0,498 + 0,0283 \times \ell d / h_{cp}$$

$$\Psi = 0,46$$

Крутячий момент прокатки на одному валку по формулі дорівнює:

$$M = \Psi \times \ell d \times P;$$

$$M = 0,46 \times 0,145 \times 13,58 = 0,91 \text{ МНм,}$$

Момент тертя у шейках валків кліті дорівнює:

$$M_{тр1} = P \times f_n \times d_{ш};$$

$$M_{тр1} = 13,58 \times 0,003 \times 0,6 = 0,02 \text{ МНм,}$$

де  $f_n$  – коефіцієнт тертя в підшипниках (в підшипниках рідинного тертя  $f_n = 0,003$ );  $d_{ш}$  – діаметр шейки ( $d_{ш} = 0,6$  мм).

Момент тертя у деталях головної лінії стану визначаємо з вираження

$$M_{тр2} = (1 / \eta_{\Sigma} - 1) (2M + M_{тр1});$$

де  $\eta_{\Sigma}$  – сумарний коефіцієнт корисної дії передачі двигун – валки ( $\eta_{\Sigma} = 0,9$ )

$$M_{тр2} = (1 / 0,9 - 1) (2 \times 0,92 + 0,02) = 0,19 \text{ МНм.}$$

Сумарний момент діючий при прокатуванні розкату дорівнює (на два валка):

$$M_{\text{пр}} = 2M + M_{\text{тр1}} + M_{\text{тр2}};$$

$$M_{\text{пр}} = 2 \times 0,91 + 0,02 + 0,19 = 2,04 \text{ МНм};$$

Фактична потужність на валу двигуна для двох валків з формули дорівнює:

$$N_{\text{дв}} = 960 \times M \times v / R \times \eta;$$

$$N_{\text{дв}} = 960 \times 2,04 \times 1,05 / 0,47 \times 0,9 = 3934 \text{ кВт},$$

що не перевищує допущеної [ $N_{\text{дв}} = 6300 \text{ кВт}$ ].

Кліть 2.

Довжина дуги контакту та фактор форми  $\ell d / h_{\text{ср}}$  осередку деформації доведені у таблиці 2.1.

Швидкість деформації дорівнює:

$$u = \frac{1,25 \times 10^3 \times 0,34}{114} = 3,7 \text{ с}^{-1};$$

Визначаємо коефіцієнт тертя:

$$f_0 = 0,27 - 0,1(1150 / 400 - 2) = 0,19;$$

$$k_t = 1 + 0,43(1 - 45 / 65)^2;$$

$$k_v = 0,76 + 0,82(1,02 - 0,102 \times 1,25)^2 = 1,41;$$

$$f = 0,19 \times 1,04 \times 1,41 \times 1,02 = 0,29;$$

Показник тертя дорівнює:

$$f_n = 0,29 \times (0,92 + 1,27 \times 0,34) = 0,39;$$

Розрахунок межі текучості метала при базовому його значенні  $\sigma_{T0} = 81$  Н/мм<sup>2</sup>

( $u < 10 \text{ c}^{-1}$ ):

$$k_t = 1,66 - 1,1(1150 / 400 - 2)^{0,7} = 0,66;$$

$$k_e = 1 + 0,43[1 - 6,3(0,5 - 0,34)^2] = 1,34;$$

$$k_u = 0,22 + 0,072(7 + \ln 3,7) = 0,92.$$

$$\sigma_T = 81 \times 0,66 \times 1,34 \times 0,92 = 67 \text{ Н/мм}^2.$$

Середній тиск ( $\ell d / h_{cp} > 1$ )

$$p_{cp} = 1,15 \times 67 (1 + 0,48 \times 0,38 \times 1,44) = 97 \text{ Н/мм}^2$$

Сила прокатки

$$P = 97 \times 0,114 \times 1,1 = 12,17 \text{ МН}$$

Коефіцієнт положення рівнодіючих сил

$$\Psi = 0,498 + 0,0283 \times 1,44 = 0,46$$

Визначаємо крутячий момент прокатки на одному валку

$$M = 0,6 \times 0,114 \times 12,17 = 0,63;$$

$2M = 1,27$ , що менш допустимого з таблиці 2.

Момент тертя у шейках валків кліті кварто ( $d_{ш} = 480$  мм).

$$M_{тр1} = 12,17 \times 0,003 \times 0,48 (810 / 1240) = 0,02 \text{ МНм.}$$

Момент тертя у деталях головної лінії [ $\eta = 0,9$ ]

$$M_{тр2} = 0,111 (1,27 + 0,02) = 0,13 \text{ МНм.}$$

Сумарний момент

$$M_{пр} = 1,27 + 0,02 + 0,13 = 1,42 \text{ МНм.}$$

Момент, приведений до вала двигуна ( $i = 19,5$ )

$$M_{дв} = 1,42 / 19,5 = 0,07 \text{ МНм.}$$

Фактично потужність на валу двигуна для двох валків дорівнює:

$$N_{дв} = 960 \times 1,42 \times 1,25 / 0,405 \times 0,9 = 3793 \text{ кВт.}$$

Кліть 3.

$$u = \frac{1330 \times 0,37}{81,67} = 5,95 c^{-1};$$

$$f_0 = 0,27 - 0,1(1133 / 400 - 2)^2 = 0,2;$$

$$k_t = 1 + 0,43 (1 - 45 / 65)^2 = 1,04;$$

$$k_v = 0,76 + 0,82 (1,02 - 0,102 \times 1,33)^2 = 1,4;$$

$$f = 0,2 \times 1,04 \times 1,4 \times 1,03 = 0,29;$$

$$f_n = 0,29 \times (0,92 + 1,27 \times 0,37) = 0,41;$$

$$k_t = 1,66 - 1,1 (1133 / 400 - 2)^{0,7} = 0,69;$$

$$k_\varepsilon = 1 + 0,43 [1 - 6,3(0,5 - 0,37)^2] = 1,38;$$

$$k_u = 0,22 + 0,072 (7 + \ln 5,95) = 0,95;$$

$$\sigma_T = 81 \times 0,69 \times 1,38 \times 0,95 = 75 \text{ Н/мм}^2.$$

$$p_{cp} = 1,15 \times 75(1 + 0,48 \times 0,41 \times 1,59) = 112 \text{ Н/мм}^2;$$

$$P = 112 \times 0,082 \times 1,1 = 10,08 \text{ МН};$$

$$\Psi = 0,45;$$

$$M = 0,45 \times 0,082 \times 10,08 = 0,37 \text{ МНм}; 2M = 0,73 \text{ МНм};$$

$$M_{\text{тр1}} = 10,08 \times 0,003 \times 0,0396 (580 / 1240) = 0,02 \text{ МНм}.$$

$$M_{\text{тр2}} = 0,111 (0,73 + 0,02) = 0,08 \text{ МНм}.$$

$$M_{\text{пр}} = 0,73 + 0,02 + 0,08 = 0,83 \text{ МНм};$$

$$M_{\text{дв}} = 0,83 / 10,15 = 0,08 \text{ МНм} (i = 10,15);$$

$$M_{\text{ном}} = 0,975 \frac{4000 \times 0,9}{150 \times 10^2} = 0,23; \text{ МНм}$$

$$n = 60 \times 1,33 \times 10,15 / 3,14 \times 0,58 = 150 \text{ об/хв}$$

$$k_n = 0,08 / 0,23 = 0,35.$$

$$N_{\text{дв}} = 960 \times 0,83 \times 1,33 / 0,29 \times 0,9 = 3331 \text{ кВт},$$

Кліть 4.

$$u = \frac{1900 \times 0,3}{60} = 9,58 c^{-1};$$

$$f_0 = 0,27 - 0,1 (1100 / 400 - 2) = 0,21;$$

$$k_t = 1,04;$$

$$k_v = 0,76 + 0,82 (1,02 - 0,102 \times 1,9)^2 = 1,32;$$

$$f = 0,21 \times 1,04 \times 1,32 \times 1 = 0,29;$$

$$f_n = 0,37;$$

$$k_t = 1,66 - 1,1 (1100 / 400 - 2)^{0,7} = 0,76;$$

$$k_\varepsilon = 1 + 0,43 [1 - 6,3 (0,5 - 0,3)^2] = 1,32;$$

$$k_u = 0,22 + 0,072 (7 + \ln 9,58) = 0,98;$$

$$\sigma_T = 81 \times 0,76 \times 1,32 \times 0,98 = 82 \text{ Н/мм}^2.$$

$$p_{cp} = 1,15 \times 82 (1 + 0,48 \times 0,36 \times 1,75) = 124 \text{ Н/мм}^2;$$

$$P = 124 \times 0,060 \times 1,1 = 8,10 \text{ МН};$$

$$\Psi = 0,45;$$

$$M = 0,45 \times 0,060 \times 8,08 = 0,22 \text{ МНм}; \quad 2M = 0,44 \text{ МНм};$$

$$M_{\text{тр1}} = 8,10 \times 0,003 \times 0,396 \times 0,49 = 0,01 \text{ МНм};$$

$$M_{\text{тр2}} = 0,111 (0,44 + 0,01) = 0,05 \text{ МНм};$$

$$M_{\text{пр}} = 0,44 + 0,01 + 0,05 = 0,5 \text{ МНм};$$

$$M_{\text{дв}} = 0,5 / 7,36 = 0,07 \text{ МНм};$$

що допустимо при короткочасному навантаженні.

$$N_{\text{дв}} = 960 \times 0,5 \times 1,9 / 0,295 \times 0,9 = 2735 \text{ кВт.}$$

Результати розрахунку заносимо до таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Енергосилові параметри прокатки штаб  $2,2 \times 1100$  мм у чорновій групі клітей до реконструкції

№№ клітей	$\ell d$ , мм	$\ell d / h_{\text{cp}}$	$\sigma_{\text{T}}$ Н/мм <sup>2</sup>	f	$p_{\text{cp}}$ , Н/мм <sup>2</sup>	Р МН	$\Psi$	розрахунок для двох валків	
								$M_{\Sigma}$ , мНм	N, кВт
1	145	1,24	60	0,28	85	13,58	0,46	2,04	3934
2	114	1,44	67	0,29	97	12,21	0,46	1,42	3793
3	82	1,59	75	0,29	112	10,08	0,45	0,84	3331
4	60	1,75	82	0,29	124	8,10	0,45	0,49	2735

Аналогічно розраховуємо енергосилові параметри для клітей 5-10. Результати розрахунку енергосилових параметрів представлені у таблиці 2.3.



Таблиця 2.3 – Енергосилові параметри прокатки штаб 2,2×1100 мм сталь 08пс у чистовій групі клітей до реконструкції

№№ клітей	ℓd, мм	ℓd /h <sub>ср</sub>	σ <sub>т</sub> Н/мм <sup>2</sup>	f	ρ <sub>ср</sub> , Н/мм <sup>2</sup>	Р МН	Ψ	розрахунок для двох валків	
								М <sub>Σ</sub> , мНм	N, кВт
5	66	3,14	99	0,34	195	14,14	0,41	0,87	3686
6	40	3,53	113	0,31	213	9,40	0,4	0,35	2367
7	32	4,45	135	0,28	270	9,47	0,37	0,27	2862
8	25	5,48	168	0,24	345	9,40	0,34	0,19	3276
9	17	5,6	190	0,21	351	6,62	0,34	0,1	2253
10	11	4,58	177	0,19	278	3,35	0,37	0,04	986

### 2.3 Розрахунок режиму деформації штаб на НШСГП 1680 після вдосконалення (збільшення швидкості в чорновій групі до 2,5 м/с)

Вихідні данні до розрахунку.

Штаба 2,2 × 1100 мм, сталь – 08 пс

сляб L = 9,5 м, В = 1100 мм, Н = 165 мм

вага сляба дорівнює

$$G = H \times B \times L \times \gamma$$

$$G = 0,165 \times 1100 \times 9,5 \times 7,85 = 13,5 \text{ т}$$

Розрахунок допускного кута захвата та величини обтиснень.

$$\text{Кліть 1} - D_1 \times 0,92 = 940 \times 0,92 = 865 \text{ мм};$$

$$\text{Кліть 2} - D_2 \times 0,92 = 810 \times 0,92 = 745 \text{ мм};$$

$$\text{Кліть 3} - D_3 \times 0,92 = 580 \times 0,92 = 533 \text{ мм};$$

$$\text{Кліть 4} - D_4 \times 0,92 = 590 \times 0,92 = 543 \text{ мм};$$

де 0,92 – коефіцієнт сумарної переточки валків.

Приймаємо орієнтирну температуру розкату в кліті 1 рівній для  $2,2 \times 1100$  мм (08пс)  $t \approx 1180^\circ\text{C}$ , міцність валків 45HSD, швидкість прокатки кліті 4  $V_4 = 2,2$  м/с [2].

Визначаємо коефіцієнт тертя:

$$f = f_0 \times k_B \times k_T \times k_M \times k_V \times k_{CM} \times k_\varepsilon$$

де  $f_0$  - базовий коефіцієнт тертя;

$k_B$  - стан поверхні валків  $k_B = 1,2$ ;

$k_T$  – міцність поверхні валків;

$k_M$  – матеріал сляба (штаби),  $k_M = 1,0$ ;

$k_V$  – навколишня швидкість валків;

$k_{CM}$  – тип технологічного змащення,  $k_{CM} = 1,0$ ;

$k_\varepsilon$  – відносне обтиснення;  $\varepsilon \leq 30\%$  -  $k_\varepsilon = 0,9...1$ ;  $\varepsilon > 30\%$  -  $k_\varepsilon = 1,0...1,2$ .

Базовий коефіцієнт тертя

$$f_0 = 0,27 - 0,1 (t/400 - 2)^2$$

де  $t$  – температура металу,  $^\circ\text{C}$

$$k_T = 1 + 0,43 (1 - \text{HSD}/65)^2 \text{ (при HSD} > 65 \text{ коефіцієнт } k_T = 1)$$

$$k_V = 0,76 + 0,82 (1 - 0,102 v)^2;$$

$$f_0 = 0,27 - 0,1 (1180/400 - 2)^2 = 0,18;$$

$$k_T = 1 + 0,43 (1 - 45/65)^2 = 1,04;$$

$$k_{V1} = 0,76 + 0,82 (1 - 0,102 \times 1,05)^2 = 1,41;$$

$$f_1 = 0,18 \times 1,2 \times 1,04 \times 1,0 \times 1,41 \times 1,0 \times 1,0 = 0,32;$$

Аналогічно для кліті 2

$$kv_2 = 0,76 + 0,82 (1 - 0,102 \times 1,05)^2 = 1,38;$$

$$f_0 = 0,27 - 0,1 (1149/400 - 2)^2 = 0,18;$$

$$f_2 = 0,18 \times 1,2 \times 1,04 \times 1,0 \times 1,38 \times 1,0 \times 1,0 \times 1,0 = 0,31;$$

Коефіцієнт тертя при захваті розкату валками при  $k_3 = 1,35$

$$f_{31} = f \times k_3$$

$$f_{31} = 0,32 \times 1,35 = 0,43;$$

$$f_{32} = 0,31 \times 1,35 = 0,42;$$

Допускаємо обтиснення

$$\Delta h_d = R \times f_3^2;$$

де  $R$  радіус валків;

$$[\Delta h_1] = 432,5 \times 0,43^2 = 86,2 \text{ мм};$$

$$[\Delta h_2] = 372,5 \times 0,42^2 = 51,33 \text{ мм};$$

Складаємо попередню таблицю обтиску.

Для прокатки штаб з розміром  $2,2 \times 1100$  мм, сляб  $165 \times 1100$  мм.

Величина абсолютного обтиску від кліті 1 к кліті 4 повинна зменшуватися, так як збільшується межа текучість металу у зв'язку зі зменшенням температури прокату та збільшується швидкість.

Визначаємо розподіл обтиску по чорновим клітям стану

$$\Delta h_i / \Delta h_\Sigma = 0,106 + 0,086 (4 - n_i)^{0,9}$$

де 4 – кількість клітей у групі (без окалиналомача);

$n_i$  – номер кліті;

$\Delta h_{\Sigma}$  – сумарний обтиск розкату в клітях чорновій групі (без окалиналомача);

Розрахункові значення  $\Delta h_i$  необхідно скоректувати таким чином, щоб сумарне обтиснення по клітям дорівнювало різності  $H - h_4 = 137 - 25 = 112$  мм

$$\Delta h_1 / \Delta h_{\Sigma} = 0,106 + 0,086 (4 - 1)^{0,9} = 0,337$$

$$\Delta h_2 / \Delta h_{\Sigma} = 0,106 + 0,086 (4 - 2)^{0,9} = 0,266$$

$$\Delta h_3 / \Delta h_{\Sigma} = 0,106 + 0,086 (4 - 3)^{0,9} = 0,115$$

$$\Delta h_4 / \Delta h_{\Sigma} = 0,106 + 0,086 (4 - 4)^{0,9} = 0,106.$$

В чистовій групі з семі клітей режим деформацій визначають наступним чином. В чистовій кліті відносне обтискання приймаємо рівним  $\varepsilon_{10} = 10 - 18\%$ , а в першій кліті чистовій групі приймаємо в межах  $\varepsilon_5 = 40 - 60\%$

В цьому випадку абсолютне обтиснення дорівнює:

$$\text{Кліть 5 } \Delta h_5 = \varepsilon \times \Delta h_{\text{пр}} = 0,5 \times 28 = 14 \text{ мм};$$

$$\text{Кліть 10 } \Delta h_{11} = h \left( \frac{1}{1 - \varepsilon} - 1 \right) = 2,2 \times \left( \frac{1}{1 - 0,15} - 1 \right) = 0,39 \text{ мм};$$

Сумарне обтиснення на 5 клітях що залишилися складає:

$$\Delta h_{\Sigma} = h_{\text{пр}} - h - \Delta h_5 - \Delta h_{11} = 28 - 2,2 - 14 - 0,39 = 11,41 \text{ мм};$$

Часткове обтиснення у клітях 6-10 орієнтовно можна обчислити по вираженню:

$$\Delta h_i = 0,085 + 0,089 (9 - n_i)^{1,3} \times \Delta h_{\Sigma};$$

$$\Delta h_6 = 0,085 + 0,089 (9 - 6)^{1,3} \times 11,41 = 5,21;$$

$$\Delta h_7 = 3,27;$$

$$\Delta h_8 = 1,99;$$

$$\Delta h_9 = 0,95;$$

$$\Delta h_{10} = 0,39;$$

*Розрахунок швидкісного режиму та температур металу по клітям*

Приймаємо швидкість прокатки в кліті 4  $V = 2,5$  м/с, в кліті 10  $V = 9,2$  м/с. Єдиним безперервним процесом зв'язані кліті 2-3, 3-4, 5-10.

Визначаємо швидкість в попередніх клітях за формулою (поширення  $\Delta v = 0$ )

$$V_{i-1} = V_i h_i / h_{i-1}$$

де  $i$  – номер кліті,

$V_i h_i$  – відповідно швидкість прокатки та товщина штаби в попередній кліті безперервної групи.

На основі закону постійності секундних об'ємів металу (при випередженні  $S = \text{const}$ ) визначаємо швидкість в попередніх клітях.

Так, для кліті 5 безперервної групи швидкість прокатки буде дорівнювати:

$$V_5 = V_6 \times h_6 / h_5 = 2,3 \times 8,79 / 14 = 1,45 \text{ м/с}$$

Аналогічно визначаються швидкості валків для залишених клітей. Температуру металу по клітям різних ШСГП можна визначити по теоретичним чи емпіричним формулам, які приведені в роботі [2].

При періодичній прокатки штаб в окремо розташованих клітях ШСГП 1680 падіння температури складає:

Окалиноломач – кліть 1-5 °С; кліті 1-2 - 15 °С; кліті 2-3 - 20°С; кліті 3-4 - 40°С.

При установці в чорновій групі останніх трьох клітях в виді безперервної підгрупи (відстань між клітями 10-11м) загальне падіння температур складає 30-50°С. Зниження втрат температур проходить за рахунок зменшення часу переміщення рас кату від однієї кліті до другої. При транзитної (прямій) прокатці слябів на ШСГП 1680 температура поверхні сляба перед станом, в основному складає  $t = 1160-1200^{\circ}\text{C}$ , а після кліті 4  $t_4 = 1060-1100^{\circ}\text{C}$ .

Розрахунок падіння температури в клітях чорнової групи.

$$\Delta t \approx 0,0021 (t_{i-1} + 273 / 100)^4 \times (\tau_{i-1} / h_{i-1})$$

де  $t_{i-1}$  – температура металу в попередньому проході, °С

$\tau_{i-1}$  – машинний час прокатки в попередньому проході та час паузи, °С

$h_{i-1}$  – товщина розкату, мм

Температура в послідуєчому проході

$$t_1 = t_{i-1} - \Delta t_i$$

Приймаємо температуру розкату  $t_{i-1} = 1180$  °С, відстань між окалиноломателем та кліттю  $t_{i-1} = 10$ м, швидкість прокатки в окалиноломателі  $V = 1$ м/с.

$$\tau_{i-1} = L_{i-1} / V_{i-1}$$

$$\Delta t_1 = 0,0021(1180+273/100)^4 (6,25/140) = 4^{\circ}\text{C}$$

В результаті охолодження сляба на гідросбиві, його температура знижується на  $\Delta t_r = 10^{\circ}\text{C}$ .

$$t_1 = t_{i-1} - \Delta t_i - \Delta t_r = 1180 - 4 - 10 = 1166 \text{ }^\circ\text{C}$$

Для кліті 2 отримуємо:

$$\tau_2 = 20 / 1,5 = 12,67 \text{ с.}$$

$$\Delta t_2 = 0,0021(1166 + 273/100)^4 (12,67/95) = 15^\circ\text{C}$$

$$t_2 = 1166 - 15 = 1151^\circ\text{C}$$

Для кліті 3 отримуємо:

$$\tau_3 = 19 / 1,54 = 16,23 \text{ с.}$$

$$\Delta t_3 = 0,0021(1146 + 273/100)^4 (16,23/63) = 17^\circ\text{C}$$

$$t_3 = 1151 - 17 = 1133^\circ\text{C}$$

Для кліті 4 отримуємо

$$\tau_4 = 65 / 2,5 = 29 \text{ с.}$$

$$\Delta t_4 = 0,0021(1122 + 273/100)^4 (29/28) = 29^\circ\text{C}$$

$$t_4 = 1133 - 29 = 1104^\circ\text{C}$$

Падіння температури металу по клітям чистової групи при прокатці штаб з  $h = 2-4$  мм ( $V = 8,05-6,8$  м/с) ШСГП 1680 приблизно визначається з виразу:

$$t_i = t_{\text{ПК}} - \frac{(t_{\text{ПК}} - t_{\text{К}})}{\frac{h_{\text{ПК}}}{h_{\text{К}}} - 1} \left( \frac{h_{\text{ПК}}}{h_i} - 1 \right),$$

де  $t_{\text{пр}}$  – температура розкату перед кліттю чистової групи,  $^\circ\text{C}$  ( $t_{\text{пр}} = 1080$   $^\circ\text{C}$ )

$h_i$  – товщина штаби в клітях чистової групи.

$$t_6 = 1039^{\circ}\text{C};$$

$$t_7 = 1004^{\circ}\text{C}$$

$$t_8 = 951^{\circ}\text{C}$$

$$t_9 = 897^{\circ}\text{C}$$

$$t_{10} = 862^{\circ}\text{C}$$

Результати розрахунку режиму деформації та температурно-швидкісного режиму представлені у табл. 2.4.

Таблиця 2.4 – Режим деформації штаби  $2,2 \times 1100$  мм зі сталі 08 кп.

№ клітей	H, мм	h, мм	$\Delta h$ , мм	$\epsilon$ , %	v, м/с	t, $^{\circ}\text{C}$
<b>Чорнова група</b>						
Дуо	165	140	25	15	0,85	1180
1	140	95	45	32	1,25	1166
2	95	63	32	34	1,50	1151
3	63	40	23	37	1,75	1133
4	40	28	12	30	2,5	1104
<b>Чистова група</b>						
5	28	14	14	50	1,45	1080
6	14	8,79	5,21	37	2,3	1039
7	8,79	5,52	3,27	37	3,66	1004
8	5,52	3,54	1,99	36	5,72	951
9	3,54	2,59	0,95	27	7,82	897
10	2,59	2,20	0,39	15	9,2	861

### *Розрахунок енергосилових параметрів прокатки*

Визначаємо енергосилові параметри прокатки для профілю  $2,2 \times 1100$  мм 08 кп за умовами доведеним у таблиці 1.

Кліть 1.

Довжина дуги контакту, фактор форми осередку деформації та швидкість деформації дорівнюють:

$$\ell d = \sqrt{R \times \Delta h} \quad 1;$$



$$\ell d = \sqrt{470 \times 25} = 145,43 \text{ мм};$$

$$h_{cp} = 0,5 (H + h);$$

$$h_{cp} = 0,5 (140 + h) = 117,5 \text{ мм};$$

$$u = \frac{v \times \varepsilon}{\ell d};$$

$$u = \frac{1250 \times 0,32}{145,43} = 2,76 \text{ с}^{-1}$$

Межа текучості металу (сталь марки 08 пс) визначимо по величині вуглецевого еквівалента (вираження (1.27)-(1.29) з [1], в залежності від швидкості деформації та групи марки сталі по [1]. Хімічний склад, %: 0,08 С, Si 0,03, 0,37 Mn, 0,02 Gr, 0,06 Ni, а вуглецевий еквівалент дорівнює (%) [3].

$$Ni = 0,08 + 0,03 + 0,37 + 0,02 + 0,06 = 0,56.$$

Базова межа текучості по формулі з [3] дорівнює:

$$\sigma_{T0} = 80 + 25 [1 - \{ (5 - Ni) / 4,5 \}^{1,8};$$

$$\sigma_{T0} = 80 + 25 [1 - \{ (5 - 0,56) / 4,5 \}^{1,8} = 81 \text{ Н/мм}^2.$$

Використовуючи данні таблиці 1.5.1 одержуємо:

$$(u < 10 \text{ с}^{-1}) [3];$$

$$k_t = 1,66 - 1,1(t / 400 - 2)^{0,7};$$

$$k_t = 1,66 - 1,1 (1166 / 400 - 2)^{0,7} = 0,63;$$

$$k_\varepsilon = 1 + 0,43 [1 - 6,3 (0,5 - \varepsilon)^2];$$

$$k_\varepsilon = 1 + 0,43 [1 - 6,3 (0,5 - 0,32)^2] = 1,34;$$

$$k_u = 0,22 + 0,072 (7 + \ln u);$$

$$k_u = 0,22 + 0,072 (7 + \ln 2,76) = 0,9.$$

Визначаємо межу текучості.

$$\sigma_T = \sigma_{T0} \cdot k_t \cdot k_\varepsilon \cdot k_u;$$

$$\sigma_T = 81 \cdot 0,63 \cdot 1,34 \cdot 0,9 = 61 \text{ Н/мм}^2.$$

Визначаємо середній тиск.

$$P_{cp} = \sigma_{cp} (1 + 0,48 \times f_n \times \ell d / h_{cp}).$$

$$f_n = f_0 \times k_B \times k_T \times k_V \times k_{cm} \times k_\varepsilon;$$

$$f_0 = 0,27 - 0,1(1166 / 400 - 2)^2 = 0,19;$$

$$k_t = 1 + 0,43 (1 - \text{HSD} / 65)^2;$$

$$k_t = 1 + 0,43 (1 - 45 / 65)^2 = 1,04;$$

$$k_v = 0,76 + 0,82 (1,02 - 0,102 \times v)^2$$

$$k_v = 0,76 + 0,82 (1,02 - 0,102 \times 125)^2 = 1,41;$$

$$f = 0,19 \times 1,04 \times 1,41 \times 1,01 = 0,28.$$

де  $k_B = 1$ ;  $k_M = 1$ ;  $k_{cm} = 1$ ;  $k_\varepsilon = 1,01$ .

$$f_n = f (0,92 + 1,27\varepsilon);$$

$$f_n = 0,28 \times (0,92 + 1,27 \times 0,32) = 0,37;$$

$$p_{cp} = 1,15 \times 61 (1 + 0,48 \times 0,37 \times 1,24) = 86 \text{ Н/мм}^2.$$

Сила прокатування по формулі

$$P = p_{cp} \times \ell d \times B_{cp};$$

$$P = 86 \times 0,145 \times 1,1 = 13,7 \text{ МН.}$$

Визначаємо коефіцієнт положення рівнодіючих сил  $\Psi$ .

$$\Psi = 0,498 + 0,0283 \times \ell d / h_{cp}$$

$$\Psi = 0,46$$

Крутячий момент прокатки на одному валку по формулі дорівнює:

$$M = \Psi \times \ell d \times P;$$

$$M = 0,46 \times 0,145 \times 13,7 = 0,92 \text{ МНм},$$

Момент тертя у шейках валків кліті дорівнює:

$$M_{\text{тр1}} = P \times f_n \times d_{\text{ш}};$$

$$M_{\text{тр1}} = 13,7 \times 0,003 \times 0,6 = 0,02 \text{ МНм},$$

де  $f_n$  – коефіцієнт тертя в підшипниках (в підшипниках рідинного тертя  $f_n = 0,003$ );  $d_{\text{ш}}$  – діаметр шейки ( $d_{\text{ш}} = 0,6$  мм).

Момент тертя у деталях головної лінії стану визначаємо з вираження

$$M_{\text{тр2}} = (1 / \eta_{\Sigma} - 1) (2M + M_{\text{тр1}});$$

де  $\eta_{\Sigma}$  – сумарний коефіцієнт корисної дії передачі двигун – валки ( $\eta_{\Sigma} = 0,9$ )

$$M_{\text{тр2}} = (1 / 0,9 - 1) (2 \times 0,92 + 0,02) = 0,19 \text{ МНм}.$$

Сумарний момент діючий при прокатуванні розкату дорівнює (на два валка):

$$M_{\text{пр}} = 2M + M_{\text{тр1}} + M_{\text{тр2}};$$

$$M_{\text{пр}} = 2 \times 0,92 + 0,02 + 0,19 = 2,06 \text{ МНм}:$$

Фактична потужність на валу двигуна для двох валків з формули дорівнює:

$$N_{\text{дв}} = 960 \times M \times v / R \times \eta;$$

$$N_{\text{дв}} = 960 \times 2,06 \times 1,25 / 0,47 \times 0,9 = 4725 \text{ кВт},$$

що не перевищує допущеної [ $N_{\text{дв}} = 6300 \text{ кВт}$ ].

Кліть 2.

Довжина дуги контакту та фактор форми  $ld / h_{\text{ср}}$  осередку деформації доведені у таблиці 2.1.

Швидкість деформації дорівнює:

$$u = \frac{1,5 \times 10^3 \times 0,34}{114} = 4,44 \text{ с}^{-1};$$

Визначаємо коефіцієнт тертя:

$$f_0 = 0,27 - 0,1(1150 / 400 - 2) = 0,19;$$

$$k_t = 1 + 0,43(1 - 45 / 65)^2;$$

$$k_v = 0,76 + 0,82(1,02 - 0,102 \times 1,5)^2 = 1,38;$$

$$f = 0,19 \times 1,04 \times 1,38 \times 1,02 = 0,28;$$

Показник тертя дорівнює:

$$f_n = 0,28 \times (0,92 + 1,27 \times 0,34) = 0,38;$$

Розрахунок межі текучості метала при базовому його значенні  $\sigma_{\text{тб}} = 81 \text{ Н/мм}^2$

( $u < 10 \text{ с}^{-1}$ ):

$$k_t = 1,66 - 1,1(1150 / 400 - 2)^{0,7} = 0,66;$$

$$k_\varepsilon = 1 + 0,43[1 - 6,3(0,5 - 0,34)^2] = 1,34;$$

$$k_u = 0,22 + 0,072 (7 + \ln 4,44) = 0,93.$$

$$\sigma_T = 81 \times 0,66 \times 1,34 \times 0,93 = 67 \text{ Н/мм}^2.$$

Середній тиск ( $\ell d / h_{cp} > 1$ )

$$p_{cp} = 1,15 \times 67 (1 + 0,48 \times 0,38 \times 1,44) = 97 \text{ Н/мм}^2$$

Сила прокатки

$$P = 97 \times 0,114 \times 1,1 = 12,17 \text{ МН}$$

Коефіцієнт положення рівнодіючих сил

$$\Psi = 0,498 + 0,0283 \times 1,44 = 0,46$$

Визначаємо крутячий момент прокатки на одному валку

$$M = 0,6 \times 0,114 \times 12,17 = 0,63;$$

$2M = 1,27$ , що менш допустимого з таблиці 2.

Момент тертя у шейках валків кліті кварто ( $d_{ш} = 480 \text{ мм}$ ).

$$M_{тр1} = 12,17 \times 0,003 \times 0,48 (810 / 1240) = 0,02 \text{ МНм.}$$

Момент тертя у деталях головної лінії [ $\eta = 0,9$ ]

$$M_{тр2} = 0,111 (1,27 + 0,02) = 0,13 \text{ МНм.}$$

Сумарний момент

$$M_{\text{пр}} = 1,27 + 0,02 + 0,13 = 1,42 \text{ МНм.}$$

Момент, приведений до вала двигуна ( $i = 19,5$ )

$$M_{\text{дв}} = 1,42 / 19,5 = 0,07 \text{ МНм.}$$

Номінальний момент

$$M_{\text{ном}} = 0,975 \frac{4000 \times 0,9}{453 \times 10^2} = 0,077;$$

$$n = 60 \times 1,5 \times 19,5 / 3,14 \times 810 = 453;$$

Коефіцієнт перевантаження двигуна.

$$k_n = 0,07 / 0,077 = 0,9;$$

що допустимо при короткочасному навантаженні.

Фактично потужність на валу двигуна для двох валків дорівнює:

$$N_{\text{дв}} = 960 \times 1,42 \times 1,5 / 0,405 \times 0,9 = 4538 \text{ кВт.}$$

Кліть 3.

$$u = \frac{1750 \times 0,37}{81,67} = 7,82 c^{-1};$$

$$f_0 = 0,27 - 0,1(1133 / 400 - 2)^2 = 0,2;$$

$$k_t = 1 + 0,43 (1 - 45 / 65)^2 = 1,04;$$

$$k_v = 0,76 + 0,82 (1,02 - 0,102 \times 1,75)^2 = 1,34;$$

$$f = 0,2 \times 1,04 \times 1,34 \times 1,03 = 0,28;$$

$$f_n = 0,28 \times (0,92 + 1,27 \times 0,37) = 0,39;$$

$$k_t = 1,66 - 1,1 (1133 / 400 - 2)^{0,7} = 0,69;$$

$$k_{\varepsilon} = 1 + 0,43 [1 - 6,3(0,5 - 0,37)^2] = 1,38;$$

$$k_u = 0,22 + 0,072 (7 + \ln 7,82) = 0,97;$$

$$\sigma_T = 81 \times 0,69 \times 1,38 \times 0,97 = 75 \text{ Н/мм}^2.$$

$$p_{cp} = 1,15 \times 75(1 + 0,48 \times 0,39 \times 1,59) = 111 \text{ Н/мм}^2;$$

$$P = 111 \times 0,082 \times 1,1 = 9,95 \text{ МН};$$

$$\Psi = 0,45;$$

$$M = 0,45 \times 0,082 \times 9,95 = 0,37 \text{ МНм}; 2M = 0,73 \text{ МНм};$$

$$M_{\text{тр1}} = 9,92 \times 0,003 \times 0,0396 (580 / 1240) = 0,02 \text{ МНм}.$$

$$M_{\text{тр2}} = 0,111 (0,73 + 0,02) = 0,08 \text{ МНм}.$$

$$M_{\text{пр}} = 0,73 + 0,02 + 0,08 = 0,83 \text{ МНм};$$

$$M_{\text{дв}} = 0,83 / 10,15 = 0,08 \text{ МНм (} i = 10,15);$$

$$M_{\text{ном}} = 0,975 \frac{4000 \times 0,9}{173 \times 10^2} = 0,203; \text{ МНм}$$

$$n = 60 \times 1,54 \times 10,15 / 3,14 \times 0,58 = 173. \text{об/хв}$$

$$k_n = 0,08 / 0,203 = 0,39.$$

$$N_{\text{дв}} = 960 \times 0,83 \times 1,75 / 0,29 \times 0,9 = 4327 \text{ кВт},$$

Кліть 4.

$$u = \frac{2500 \times 0,3}{60} = 12,61 \text{ с}^{-1};$$

$$f_0 = 0,27 - 0,1 (1100 / 400 - 2) = 0,21;$$

$$k_t = 1,04;$$

$$k_v = 0,76 + 0,82 (1,02 - 0,102 \times 2,5)^2 = 1,24;$$

$$f = 0,21 \times 1,04 \times 1,24 \times 1 = 0,26;$$

$$f_n = 0,38;$$

$$k_t = 1,66 - 1,1 (1100 / 400 - 2)^{0,7} = 0,76;$$

$$k_{\varepsilon} = 1 + 0,43 [1 - 6,3 (0,5 - 0,3)^2] = 1,32;$$

$$k_u = 0,22 + 0,072 (7 + \ln 12,61) = 1,04;$$

$$\sigma_T = 81 \times 0,76 \times 1,32 \times 1,04 = 83 \text{ Н/мм}^2.$$

$$p_{cp} = 1,15 \times 83 (1 + 0,48 \times 0,36 \times 1,75) = 124 \text{ Н/мм}^2;$$

$$P = 124 \times 0,060 \times 1,1 = 8,08 \text{ МН};$$

$$\Psi = 0,45;$$

$$M = 0,45 \times 0,060 \times 8,08 = 0,22 \text{ МНм}; \quad 2M = 0,44 \text{ МНм};$$

$$M_{\text{тр1}} = 8,18 \times 0,003 \times 0,396 \times 0,49 = 0,01 \text{ МНм};$$

$$M_{\text{тр2}} = 0,111 (0,44 + 0,01) = 0,05 \text{ МНм};$$

$$M_{\text{пр}} = 0,44 + 0,01 + 0,05 = 0,5 \text{ МНм};$$

$$M_{\text{дв}} = 0,5 / 7,36 = 0,07 \text{ МНм};$$

$$M_{\text{ном}} = 0,975 \frac{4000 \times 0,9}{424 \times 10^2} = 0,08; \text{ МНм}$$

$$n = 60 \times 2,5 \times 7,36 / 3,14 \times 0,59 = 424 \text{ об/хв.}$$

$$k_n = 0,07 / 0,08 = 0,875;$$

що допустимо при короткочасному навантаженні.

$$N_{\text{дв}} = 960 \times 0,5 \times 2,5 / 0,295 \times 0,9 = 3591 \text{ кВт.}$$

Результати розрахунку енергосилових параметрів прокатки штаби  $2,2 \times 1100$  мм у чорновій групі клітей представлені у табл. 2.5.

Таблиця 2.5 – Енергосилові параметри прокатки штаб  $2,2 \times 1100$  мм у чорновій групі клітей

№№ клітей	$\ell d$ , мм	$\ell d / h_{\text{ср}}$	$\sigma_{\text{т}}$ Н/мм <sup>2</sup>	f	$p_{\text{ср}}$ , Н/мм <sup>2</sup>	P МН	$\Psi$	розрахунок для двох валків	
								$M_{\Sigma}$ , мНм	N, кВт
1	145	1,24	61	0,28	86	13,7	0,46	2,06	4725
2	114	1,44	67	0,28	97	12,17	0,46	1,42	4538
3	82	1,59	75	0,28	111	9,95	0,45	0,83	4327
4	60	1,75	83	0,26	124	8,08	0,45	0,49	3591

Кліть 5.

Розрахунок енергосилових параметрів



$$u = \frac{145 \times 0.5}{65.88} = 10.97 c^{-1}.$$

Визначаємо коефіцієнт тертя при  $k_B = 1,2$ ;  $k_\varepsilon = 1,1$ ;  $k_M = 1,0$ ;  $k_{CM} = 1,0$ ;  $k_T = 1,0$ .

$$\begin{aligned} f_0 &= 0,27 - 0,1 (1080 / 400 - 2)^2 = 0,22; \\ k_v &= 0,76 + 0,82 (1,0 - 0,102 \times 1,45)^2 = 1,38; \\ f &= 0,22 \times 1,0 \times 1,38 \times 1,2 \times 1,1 = 0,34; \\ f_n &= 0,52: \end{aligned}$$

Визначаємо межу текучості метала при базовому його значенні.  $\sigma_{T0} = 81$  Н/мм<sup>2</sup>.

$$\begin{aligned} k_u &= 1,03 + 0,1 (\ln 10,97 - 2,3)^{1,5} = 1,03; \\ k_\varepsilon &= 1 + 0,43 [1 - 6,3 (0,5 - 0,5)^2] = 1,43; \\ k_t &= 1,66 - 1,1 (1080 / 400 - 2)^{0,7} = 0,8; \\ \sigma_T &= 81 \times 1,03 \times 1,43 \times 0,8 = 96 \text{ Н/мм}^2. \\ p_{cp} &= 1,15 \times 96 (1 + 0,48 \times 0,52 \times 3,14) = 186 / \text{мм}^2. \\ P &= 186 \times 0,06588 \times 1,1 = 13,45 \text{ МН}. \end{aligned}$$

$$\Psi = 0,41;$$

$$M = 0,41 \times 0,06588 \times 13,45 = 0,36; \quad 2M = 0,73 \text{ МНм};$$

$$M_{TP1} = 13,45 \times 0,003 \times 0,396 \times 0,49 = 0,02 \text{ МНм}.$$

$$M_{TP2} = 0,111(0,73 + 0,02) = 0,07 \text{ МНм}.$$

$$M_\Sigma = 0,73 + 0,02 + 0,07 = 0,82 \text{ МНм};$$

$$N_{дв} = 960 \times 0,82 \times 1,45 / 0,29 \times 0,95 = 3505 \text{ кВт}.$$

Аналогічно розраховуємо енергосилові параметри для клітей 6-10.

Результати розрахунку енергосилових параметрів представлені у таблиці

2.6.

Таблиця 2.6 – Енергосилові параметри прокатки штаб  $2,2 \times 1100$  мм сталь 08пс у чистовій групі клітей

№№ клітей	$\ell d$ , мм	$\ell d / h_{cp}$	$\sigma_T$ Н/мм <sup>2</sup>	f	$p_{cp}$ , Н/мм <sup>2</sup>	P МН	$\Psi$	розрахунок для двох валків	
								$M_{\Sigma}$ , мНм	N, кВт
5	66	3,14	96	0,34	186	13,45	0,41	0,82	3505
6	40	3,53	109	0,31	204	9,01	0,4	0,33	2268
7	32	4,45	131	0,28	260	9,11	0,37	0,26	2755
8	25	5,48	164	0,24	334	9,11	0,34	0,19	3174
9	17	5,6	185	0,21	341	6,44	0,34	0,1	2193
10	11	4,58	173	0,19	271	3,27	0,37	0,04	962

#### 2.4 Зменшення потовщення задньої кінцевої ділянки за рахунок підвищення швидкості у чорновій групі

Результати параметрів прокатки штаби  $2,5 \times 1100$  мм при різній температурі заднього кінця представлені у таблиці 2.1.

У першій частині таблиці 2.7 приведені параметри прокатки заднього кінця проміжного розкату в серійному режимі, тобто при його температурі рівною  $980$  °С. Товщина готової штаби заднього кінця прийнята рівною  $2,5$  мм. Як впливає з таблиці. 2.7, коефіцієнт тертя, у міру зменшення товщини штаби, істотно зменшується унаслідок превалюючого впливу швидкості прокатки, що збільшується.

При прийнятому режимі деформації сила прокатки зменшується від кліті до кліті, а модуль жорсткості штаби зростає від  $1,43$  до  $7,88$  МН/мм. При додатковому нагріві внутрішніх витків проміжного розкату до температури  $1000$ ,  $1020$  і  $1050$  °С, сила прокатки і модуль жорсткості штаби знижуються, що обумовлює зменшення приросту товщини задньої кінцевої ділянки готової штаби на  $-(0,02.0,12)$  мм (останні три рядки в таблиці. 2.1).

Таблиця 2.7 – Параметри прокатки штаби 2,5x1100 мм з проміжного підкату НПП = 24 мм при різній температурі заднього кінця (для клітей 5-10)

Номер кліті	$h$ , мм	$f$	$P_{ср}$ , Н/мм <sup>2</sup>	$P$ , Мн	$M_{II}$ , МН/мм	$t_{н}$ , °С	$\delta h_{II}$ , мм
5	14,80	0,355	226	15,8	1,43	980	-
6	8,50	0,315	269	14,1	2,31	958	-
7	5,50	0,278	300	11,8	3,49	941	-
8	3,70	0,233	338	10,6	5,33	919	-
9	2,90	0,214	288	6,2	6,50	898	-
10	2,50	0,189	250	3,9	7,88	867	0
10	2,48	0,188	249	3,8	7,90	1000	-0,02
10	2,43	0,187	244	3,7	7,80	1020	-0,07
10	2,38	0,185	237	3,5	7,40	1050	-0,12

Примітка:  $t_n$  – початкова температура проміжного розкату

Таким чином, для зменшення приросту товщини задньої кінцевої ділянки готової штаби необхідно підвищити температуру прокатуваної штаби перед чистовою групою, що можливо здійснити за рахунок підвищення швидкості прокатки у останніх клітях чорнової групи.

В даний час на деяких широкоштабових станах гарячого прокатки застосовується технологічне мастило. Застосування мастила знижує коефіцієнт тертя, середня нормальна контактна напруга, зусилля прокатки і, отже, міжвалковий розчин. Застосування мастила в клітях №№ 7-10 при плющенні потовщених ділянок штаби дозволить понизити подовжню різнотовщинність. У другій частині розрахунку розглядається вплив зміни коефіцієнта тертя при прокатці задньої кінцевої ділянки 4 на подовжню різнотовщинність штаби. На рис. 2.4 показані розрахункові дані по зміні відносній подовжній різнотовщинності готової штаби залежно від коефіцієнта  $k_{см}$  що враховує [5] вплив на коефіцієнт тертя типу вживаного технологічного мастила. Розрахункові величини параметрів прокатки для базового варіанту дані в таблиці. У першому випадку розрахунок проводили для умов застосування мастила на задньому кінці штаби в трьох клітях чистової групи (пряма 1), а в другому – в чотирьох (пряма 2).

Таблиця 2.8 - Основні параметри прокатки ділянки 2 (рис. 2.2) штаби 2x1250 мм

Параметр	Кліть 5	Кліть 6	Кліть 7	Кліть 8	Кліть 9	Кліть 10
H, мм	20,00	13,00	8,20	5,05	3,35	2,45
h, мм	13,00	8,20	5,05	3,35	2,45	2,00
$\Delta h$ , мм	7,00	4,80	3,15	1,70	0,90	0,45
v, м/с	1,44	2,47	3,81	5,78	7,72	8,96
$t_{cp}$ , °C	958	942	931	920	902	876
f	0,363	0,333	0,295	0,244	0,210	0,194
$M_{in}$ , МН/мм	1,81	2,66	4,31	6,49	9,04	12,05
P, МН	14,71	14,36	14,67	11,91	8,92	6,16

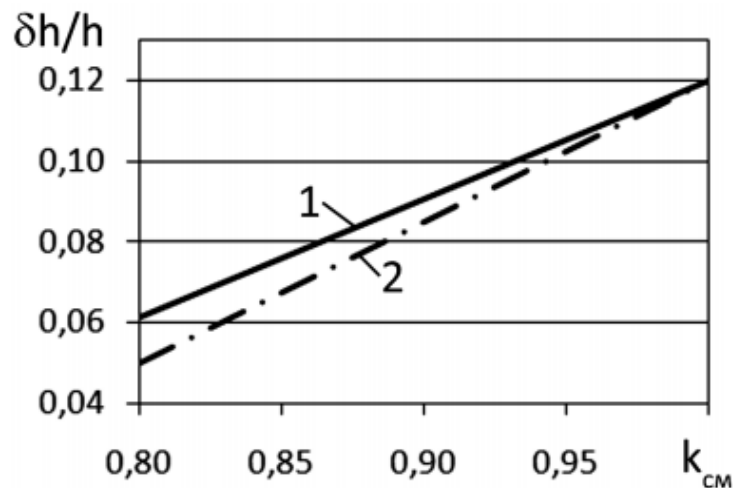


Рисунок 2.4 – Залежність відносної подовжньої різнотовщинності готової штаби для умов прокатки на ШСГП 1680 від коефіцієнта  $k_{cm}$  [5]: 1- при використанні мастила в клітях 8-10; 2- в клітях 7- 10

За даними [5], якщо як технологічне мастило застосовується вода коефіцієнт  $k_{cm} = 1$ , подовжня різнотовщинність для даного випадку розрахунку склала  $\delta h_p = 0,232$  мм. Для емульсії з ПХМ (полімеризоване бавовняне масло)  $k_{cm} = 0,8$ , подовжня різнотолщинність в даному випадку (при використанні мастила в клітях №№7-10 – крива 2) склала  $\delta h_p = 0,1$  мм.

На рис. 2.5 та 2.6 представлені графічні залежності енергосилових параметрів при швидкості в чорновій групі клітей 1, 9м/с та 2.5м/с.

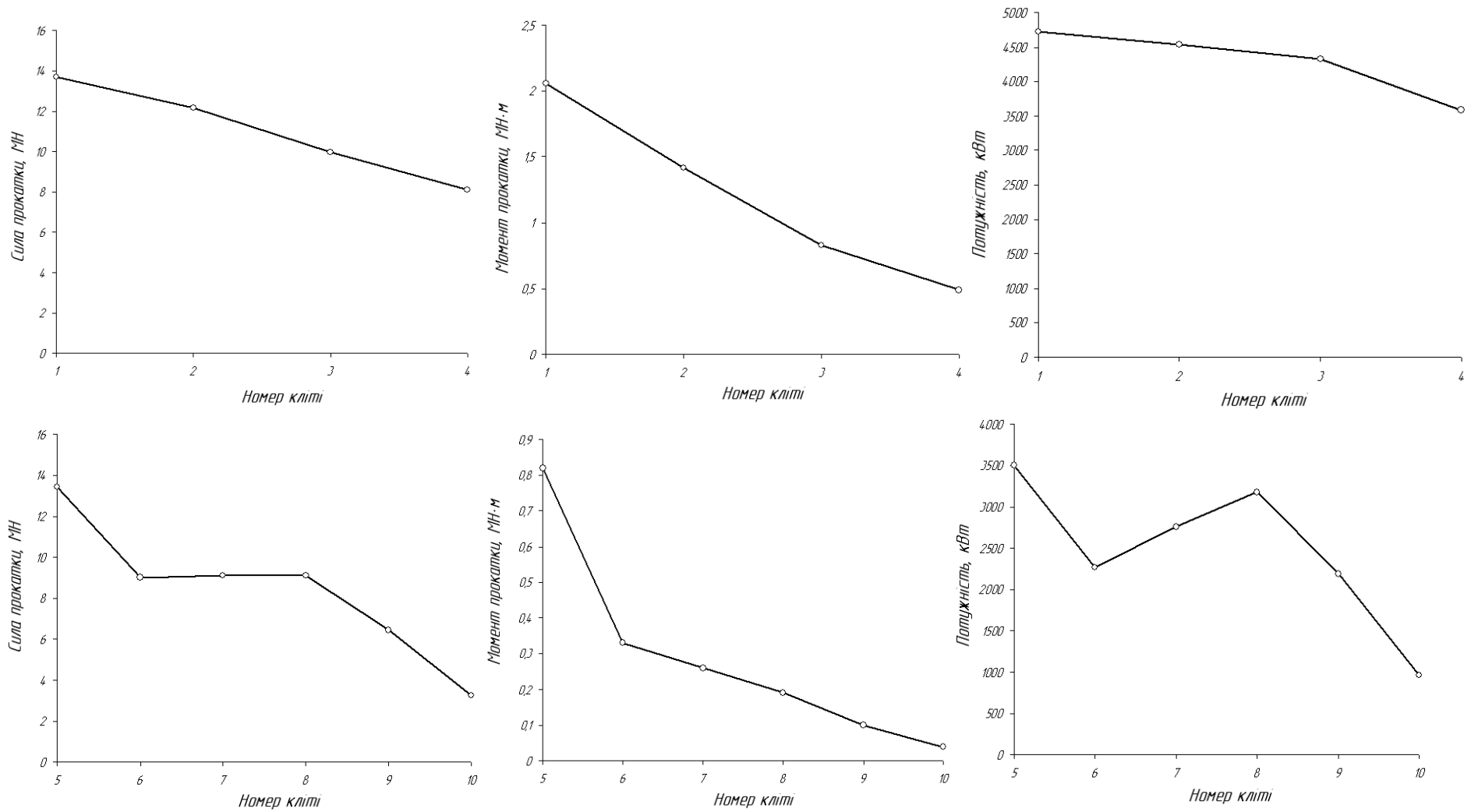


Рисунок 2.5 Графічні залежності енергосилових параметрів від номеру кліті при швидкості в чорновій групі 2,5 м/с

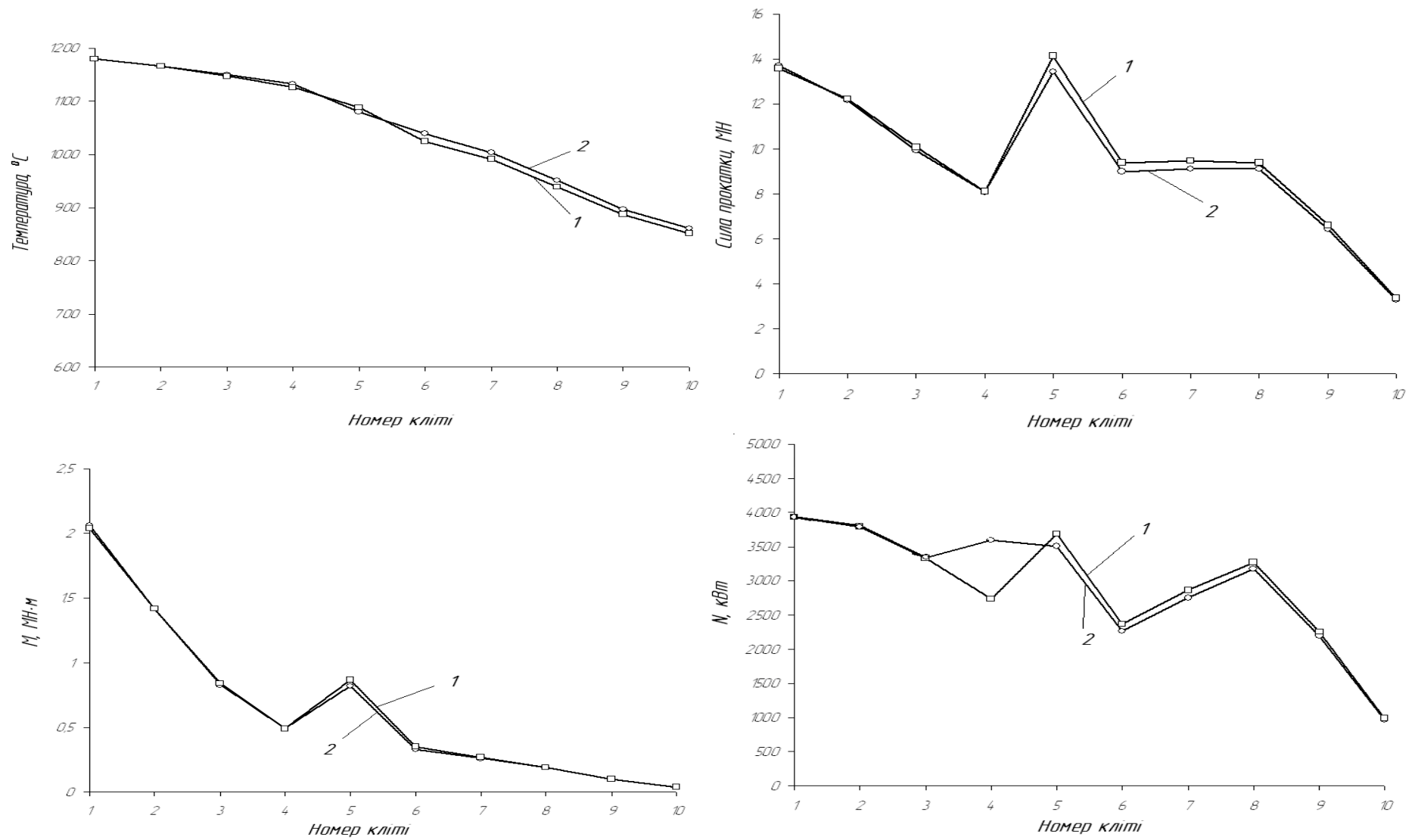


Рисунок 2.6 Енергосилові параметри прокатки штаб 2,2×1100 мм сталь 08пс зі швидкістю: 1-  $v=1,9$  мм/с; 2-  $v=2,5$  мм/с

### 3 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

#### 3.1 Розрахунок річної виробничої програми прокатного стану [23,24]

Річне виробництво прокату на безперервному стані гарячої прокатки 1680 або на іншому стані роблять по формулі:

$$A = A_z \cdot T_\phi, \quad (3.1)$$

де  $A_z$  – годинне виробництво,  $t/\text{година}$ ;  $T_\phi$  – фактичний час роботи в годинах.

Визначаємо фактичний час роботи стану в рік

$$T_\phi = NB \left( 1 - \frac{KP}{100} \right), \quad (3.2)$$

де NB - номінальний час, годин.

KP - капітальні ремонти.

Плановане й простої 10 % від номінального часу

$$NB = [KB - (ВД + ПД + КР + ППР)] ЧС * ДС, \quad (3.3)$$

де KB - календарний час - 365 доби

ВД і ПД - вихідні й святкові дні (стан працює за графіком = 0)

КР - простої на капітальний ремонт 4 доби.

ППР - планово - попереджувальні ремонти 12 діб./ рік.

ЧС - число змін роботи в добу 3 зміни

ДС - тривалість зміни 8 годин

$$NB = [ 365 - (0 + 0 + 4 + 12) ] * 3 * 8 = 349 * 3 * 8 = 8376 \text{ годин}$$

$$T_{\phi} = 8376 \left(1 - \frac{10}{100}\right) = 7538,4$$

Проектний варіант  $A_{cp} = 3120894,8$  т /рік.

### 3.2 Визначення витрат електроенергії до і після вдосконалення

По отриманим даним режиму деформації та енергосилових параметрів розрахуємо розрахунок питомої витрати електроенергії на стані НСХП 1680 по формулі:

$$W_{\Pi} = \frac{M_{\text{пр}}/t}{3600 \cdot \gamma \cdot R \cdot B}$$

$M_{\text{пр}}$  – момент прокатки, МН·м;

$\gamma=7,85$

$R$  – радіус валків, м;

$B$  – ширина розкату, м.

Визначаємо питому витрату електроенергії до реконструкції:

$$W_{\Pi(1)} = \frac{2040 / 0,095}{3600 \cdot 7,85 \cdot 1,1 \cdot 0,47} = 1,5 \text{ кВт}\cdot\text{годин}/\text{т};$$

$$W_{\Pi(2)} = \frac{1420 / 0,063}{3600 \cdot 7,85 \cdot 1,1 \cdot 0,425} = 1,71 \text{ кВт}\cdot\text{годин}/\text{т};$$

$$W_{\Pi(3)} = \frac{840 / 0,04}{3600 \cdot 7,85 \cdot 1,1 \cdot 0,299} = 2,3 \text{ кВт}\cdot\text{годин}/\text{т};$$

$$W_{\Pi(4)} = \frac{490 / 0,028}{3600 \cdot 7,85 \cdot 1,1 \cdot 0,299} = 1,88 \text{ кВт}\cdot\text{годин}/\text{т}.$$

$$W_{\Pi(5)} = \frac{870 / 0,014}{3600 \cdot 7,85 \cdot 1,1 \cdot 0,31} = 6,5 \text{ кВт}\cdot\text{годин}/\text{т}.$$



$$W_{\Pi(6)} = \frac{350 / 0,00879}{3600 \cdot 7,85 \cdot 1,1 \cdot 0,31} = 4,1 \text{ кВт} \cdot \text{годин} / \text{т.}$$

$$W_{\Pi(7)} = \frac{270 / 0,00552}{3600 \cdot 7,85 \cdot 1,1 \cdot 0,31} = 5,1 \text{ кВт} \cdot \text{годин} / \text{т.}$$

$$W_{\Pi(8)} = \frac{190 / 0,00354}{3600 \cdot 7,85 \cdot 1,1 \cdot 0,31} = 5,6 \text{ кВт} \cdot \text{годин} / \text{т.}$$

$$W_{\Pi(9)} = \frac{100 / 0,00259}{3600 \cdot 7,85 \cdot 1,1 \cdot 0,31} = 4 \text{ кВт} \cdot \text{годин} / \text{т.}$$

$$W_{\Pi(10)} = \frac{40 / 0,0022}{3600 \cdot 7,85 \cdot 1,1 \cdot 0,31} = 1,9 \text{ кВт} \cdot \text{годин} / \text{т.}$$

Визначаємо сумарну питому витрату електроенергії на НСХП 1680 до реконструкції:

$$\sum W_{\Pi} = W_{\Pi(1)} + W_{\Pi(2)} + W_{\Pi(3)} + W_{\Pi(4)}$$

$$\sum W_{\Pi} = 1,5 + 1,71 + 2,3 + 1,88 + 6,5 + 4,1 + 5,1 + 5,6 + 4 + 1,9 = 34,6 \text{ кВт} \cdot \text{годин} / \text{т.}$$

Визначаємо питому витрату електроенергії після реконструкції:

$$W_{\Pi(1)} = \frac{2060 / 0,095}{3600 \cdot 7,85 \cdot 1,1 \cdot 0,47} = 1,48 \text{ кВт} \cdot \text{годин} / \text{т};$$

$$W_{\Pi(2)} = \frac{1420 / 0,063}{3600 \cdot 7,85 \cdot 1,1 \cdot 0,425} = 1,71 \text{ кВт} \cdot \text{годин} / \text{т};$$

$$W_{\Pi(3)} = \frac{830 / 0,04}{3600 \cdot 7,85 \cdot 1,1 \cdot 0,299} = 2,23 \text{ кВт} \cdot \text{годин} / \text{т};$$

$$W_{\Pi(4)} = \frac{490 / 0,028}{3600 \cdot 7,85 \cdot 1,1 \cdot 0,299} = 1,88 \text{ кВт} \cdot \text{годин} / \text{т.}$$

$$W_{\Pi(5)} = \frac{820 / 0,014}{3600 \cdot 7,85 \cdot 1,1 \cdot 0,31} = 6,1 \text{ кВт} \cdot \text{годин} / \text{т.}$$

$$W_{\Pi(6)} = \frac{330 / 0,00879}{3600 \cdot 7,85 \cdot 1,1 \cdot 0,31} = 3,9 \text{ кВт} \cdot \text{годин} / \text{т.}$$

$$W_{\Pi(7)} = \frac{260 / 0,00552}{3600 \cdot 7,85 \cdot 1,1 \cdot 0,31} = 4,9 \text{ кВт}\cdot\text{годин/т.}$$

$$W_{\Pi(8)} = \frac{190 / 0,00354}{3600 \cdot 7,85 \cdot 1,1 \cdot 0,31} = 5,6 \text{ кВт}\cdot\text{годин/т.}$$

$$W_{\Pi(9)} = \frac{100 / 0,00259}{3600 \cdot 7,85 \cdot 1,1 \cdot 0,31} = 4 \text{ кВт}\cdot\text{годин/т.}$$

$$W_{\Pi(10)} = \frac{40 / 0,0022}{3600 \cdot 7,85 \cdot 1,1 \cdot 0,31} = 1,9 \text{ кВт}\cdot\text{годин/т.}$$

Визначемо сумарну питому витрату електроенергії на НСХП 1680 до реконструкції:

$$\sum W_{\Pi} = 1,48 + 1,71 + 2,23 + 1,88 + 6,1 + 3,9 + 4,9 + 5,6 + 4 + 1,9 = 33,7 \text{ кВт}\cdot\text{годин/т.}$$

Визначимо різницю між сумарними питомими витратами електроенергії на стані до і після реконструкції:

$$\begin{aligned} \sum \Delta W_{\Pi} &= \sum W_{\Pi(\text{до})} - \sum W_{\Pi(\text{після})} \\ \sum \Delta W_{\Pi} &= 34,6 - 33,7 = 0,9 \text{ кВт}\cdot\text{годин/т.} \end{aligned}$$

Використовуючи отриманні данні визначимо річний економічний ефект електроенергії за формулою:

$$\begin{aligned} \mathcal{E} &= \sum \Delta W_{\Pi} \cdot A \\ \mathcal{E} &= 0,9 \cdot 3120894,8 = 2808805,32 \text{ кВт}\cdot\text{годин.} \end{aligned}$$

### 3.3 Розрахунок економії металу за рахунок зменшення різнотовщинності

Економію металу за рахунок зменшення різнотовщинності визначаємо за формулою:

$$L = \frac{\frac{\delta h_{\Pi}}{2} \cdot l_{\kappa} \cdot B}{H \cdot B},$$

де  $\delta h_{\Pi}$  - різнотовщинність штаби;

$l_{\kappa}$  - довжина ділянки з потовщеним кінцем штаби;

$H, B$  - товщина та ширина штаби.

$$L = \frac{0,153}{2} \cdot 30000 \cdot 1100}{2,2 \cdot 1100} = 1043 \text{ мм.}$$

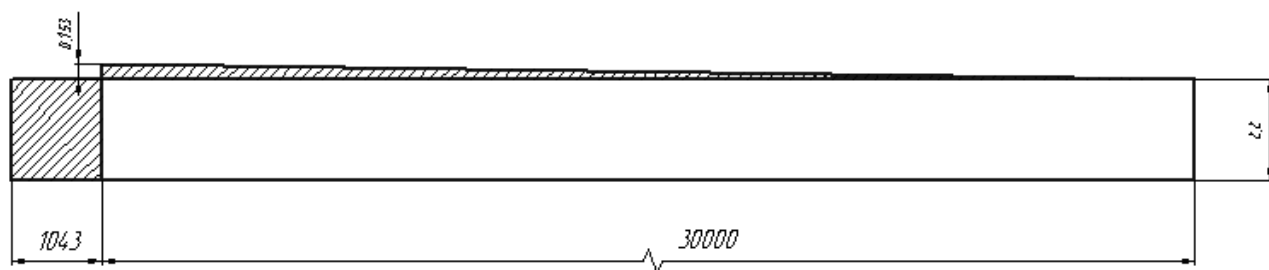


Рисунок 3.1 – Схема визначення економії металу

Визначаємо довжину рулону металу:

$$L_{\kappa} = 9,5 \cdot \frac{165}{2,2} = 712,5 \text{ м.}$$

Таким чином, економія довжини металу з одного рулону складає 1,043 м або 0,146%.

Визначаємо об'єм металу, що економиться з рулону:

$$V = 1,04 \cdot 1,1 \cdot 0,0022 = 0,00252 \text{ м}^3.$$

Визначаємо масу металу, що економиться з одного рулону:

$$m = V \cdot \rho = 0,00252 \cdot 7,85 = 0,0173 \text{ т.}$$

Визначаємо масу металу, що економиться за рік:

$$M = 0,0173 \cdot 3120894,8 = 53991,5 \text{ т. або } 1,73\%.$$

## 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА

### 4.1 Аналіз потенційно небезпечних і шкідливих чинників виробничого середовища ЦГПТЛ

На тонколистовому стані постійно або тимчасово діючими небезпечними і шкідливими виробничими чинниками, що чинить різний вплив на організм, є: рухомі машини і механізми, запиленість і загазованість повітря, вібрація, шум, підвищена температура, промислові гази та ін.

Ділянка стану складається з методичних печей, нижнього і верхнього пічного рольганга, за допомогою яких сляб подається в лінію стану й транспортується до чорнової групи клітей, а потім до чистової групи клітей стану і, нарешті, до змотувача.

Виділення пилу і окалини на ділянці стана НТЛС 1680 виникає при розвантаженні слябів з методичних печей, при проходженні слябів під окаліноломачами, при прокатці слябів у клітях чорнової і чистової груп стана.

Якісний склад пилу наведено в таблиці 4.1.

Ступінь впливу пилу на організм людини залежить від її фізико-хімічних властивостей, токсичності, концентрації, дисперсності.

При вдиханні запиленого повітря частина пилових частинок виводиться з організму.

Це обумовлено захисними рефлексами (чиханням, кашлем). Інша частина пилових частинок проникає вглиб легенів, викликаючи роздратування з'єднувальних тканин, сполучних тканин, тобто розвивається пневмоконіоз.

Таблиця 4.1 - Якісний склад пилу при прокатці

Найменування	Вміст (%)
Оксиди заліза	55,6 – 96,4
Оксиди кальцію	3 – 16,4
Оксиди магнію	1,3 – 1,6
Оксиди марганцю	0,4 – 3
Кремнезем	5,4 – 19
Вільний вуглець	1,5 – 4

У ЦГПТЛ багато основних і допоміжних технологічних операцій супроводжуються виділенням значних кількостей пилу. Вміст різних елементів у пилу пропорційно хімічним складом прокатуваної сталі. Пил містить: 73,96% Fe; 0,1%С; 0,51%Mn; 0,39%S; 25,04%O<sub>2</sub>.

Частинки пилу прокатного виробництва мають форму нерівномірних гранул, як правило, з одним або кількома гострими краями. Пил, що утворюється при прокатці і обробці металу, негативно впливає на організм людини. Медичні спостереження показують, що особи, які постійно працюють в атмосфері, яка містить зважений металевий пил, більш схильні до захворювання грипом, бронхітом, гострим захворюванням верхніх дихальних шляхів і запаленням легенів.

Пил, переважно фіброгенної дії, становить за фактом 22 мг/м<sup>3</sup>, в той час як, при нормативних значеннях 4,0 мг/м<sup>3</sup>. Перевищення ГДК пилу від норми становить більше 5,5 разів і відноситься до 3 ступеня шкідливості характеру праці [25].

Іншим фактором прокатного стану, що характеризує санітарно-гігієнічні умови праці оператора в цеху, є загазованість. Наявність різних газів в атмосфері прокатного цеху обумовлено порушеннями технологічного режиму, несправністю і недосконалістю устаткування. До основних джерел виділення шкідливих газів відносяться нагрівальні пристрої, прокатні стани, ріжучі механізми та інше технологічне обладнання.

У прольотах прокатних станів, на ділянках різання і складування металу, крім технологічних газів, в атмосферу надходить значна кількість газів, що утворюються при згорянні мастильних матеріалів (вуглекислий газ ( $\text{CO}_2$ ), вуглець оксид ( $\text{CO}$ ), сірчистий ангідрид ( $\text{SO}_2$ )).

Склад газу по карті умов праці: ангідрид хромовий -  $0,011 \text{ мг/м}^3$ , марганцю оксиди (аерозоль) -  $0,190 \text{ мг/м}^3$ , вуглецю оксид -  $22,2 \text{ мг/м}^3$  [25].

У процесі прокатки виділяється значна кількість тепла, випромінюваного нагрітими заготовками та обладнанням стана. Велика кількість теплового випромінювання має місце на робочих місцях біля нагрівальних печей, у прокатних станів, на ділянках ножиць, а також у штабелів гарячого металу на складах готової продукції. Наявність численних істочників теплового випромінювання вимагає дотримання спеціальних заходів щодо створення на цих ділянках нормальних санітарно-гігієнічних умов.

Інфрачервоне випромінювання від нагрівальних печей, нагрітого металу становить  $2950 \text{ Вт/м}^2$  при нормативних значеннях  $140 \text{ Вт/м}^2$ . Перевищення допустимої норми інфракрасного випромінювання становить  $2810 \text{ Вт/м}^2$  і відноситься до 3 ступеня шкідливості характеру праці.

Багато технологічних операцій прокатного виробництва супроводжуються утворенням шумів низької та високої частоти. Гучними шумами, рівень яких значно перевищує допустимі санітарні норми, супроводжується транспортування металу по рольгангах, прокатка на стані, різка на ножицях.

Шум, вироблений від прокатки металу прокатним станом, рольгангами, ножицями та іншими приладами становить,  $98 \text{ дБА}$  при нормативних значеннях  $80 \text{ дБА}$ . Перевищення шуму на  $18 \text{ дБА}$  відносить цей вид шкідливого впливу також до 3 ступеня шкідливості характеру праці [25].

Окремі ручні операції в прокатних цехах сполучені з шкідливим впливом вібрації на організм людини. Особливо небезпечні в цьому відношенні ручна дефектів вад на поверхні металу пневматичними зубилами,

наждачна зачистка поверхні, ручне таврування металу за допомогою пневмоінструменту.

Істотне значення для санітарно-гігієнічної характеристики прокатного виробництва мають метеорологічні умови в цеху. Метеорологічні умови в ЦГПТЛ визначаються температурою, вологістю і рухливістю повітря. Температура повітря на гарячих ділянках прокатного цеху значно перевищує температуру зовнішнього повітря.

Рухливість повітря також впливає на самопочуття людини. У холодний період року у виробничих приміщеннях прокатного цеху оптимальна швидкість руху повітря приймається рівною 0,3-0,5 м/с. У літній час допускається швидкість руху повітря 0,3-1 м/с. Проблема створення нормальних метеорологічних умов праці в прокатному цеху вирішується в комплексі із заходами щодо зменшення тепловиділень за допомогою аерації, застосування припливно-витяжної вентиляції і кондиціонування повітря.

Дана оцінка факторів виробничого середовища трудового процесу. Розроблено карту умов праці (таблиця 4.2), для основної професії - оператора стана «1680».

Аналіз карти умов праці показав, що оператор відноситься до важкої категорії робіт.

Згідно з даними карти умов праці робітник має право на пільгову пенсію, на додаткову відпустку, профілактичне харчування.

Так як в цеху проводиться гаряча прокатка, то і в холодний, і в теплий період року температура повітря вище норми. Окалина, що відлітає і осколки від гарячих злитків, вібрація, виділення парів води, шум, пил, а також фізичні фактори, зливки, що рухаються з великою швидкістю і ударами - все це є шкідливими чинниками.

На підставі проведеного аналізу пропонуються заходи щодо зменшення та виключенню цих шкідливих факторів.



Таблиця 4.2 - Оцінка факторів виробничого середовища і трудового процесу оператора стана

№ з/п	Фактори виробничого середовища і трудового процесу	Нормативне значення (ПДК, ПДУ)	Фактичне значення	III клас - шкідливі і небезпечні умови і характер праці			Час дії фактор, за зміну %
				1 ст.	2 ст.	3 ст.	
1	Шкідливі хімічні речовини, мг/м <sup>3</sup> : I клас небезпеки - ангідрит хромовий	0,010	0,011	1,1р			86,3
	II клас небезпеки, - оксиди марганцю (аерозоль)	0,050	0,190		3,8р		86,3
	III - IV клас небезпеки - вуглецю оксид	20,0	22,2	1,11р			86,3
2	Пил переважно фіброгенної дії, мг/м <sup>3</sup>	4,0	22			5,5р	90
3	Вібрація (загальна і локальна), дБ	92	99			7	90
4	Шум, дБА	80	98			18	90
8	Мікроклімат у приміщенні: теплий період	13-19	32			13	90
	- температура повітря, °С	0,5	0,24				90
	- швидкість руху повітря, м/с	75	50				90
	- відносна вологість, %						
	- інфрачервоне випромінювання, Вт/м <sup>2</sup>	140	2950			2810	90
10	Важкість і напруженість праці	Категорія важкості - важка III Напруженість праці - напружена					
11	Загальна оцінка умов праці			2	1	5	

## 4.2 Розробка заходів захисту від впливу небезпечних і шкідливих чинників виробничого середовища ЦГПТЛ

### 4.2.1 Вентиляція і кондиціювання повітря

Для створення сприятливих умов робочим, зайнятих на гарячих роботах, а також для зниження температури, в закритих приміщеннях необхідно охолоджувати повітря у відповідних установках. Найбільш простим методом охолодження повітря є, його охолодження в камерах в результаті випаровування рециркулюючої води. Випаровування водяного пилу викликає охолодження повітря, засмоктуваного в камеру вентилятором. Витрата води, що йде на випаровування, в стічному резервуарі поповнюється за допомогою поплавкового клапана від водопровідної мережі.

При температурі охолоджуваного повітря близько 20-30 °С в повітряноохолоджуючих камерах випаровуванням рециркулюючої води охолоджують повітря на 6 – 8 °С, а при температурі повітря близько 35-40 °С на 10-15 °С [26].

Для найбільшого охолодження повітря, що подається на пости керування прокатними станами, що подають рольгангами, ножицями і пилами гарячого різання або для обдування робочих місць, застосовуються спеціальні кондиціонери, що дозволяють подавати повітря з початковою температурою близько 13-15°С, що забезпечує температуру повітря в приміщеннях пультів керування або на робочих місцях біля 20-22 ° С. При цьому температура холодоносія становить 6-8°С [25].

На постах управління прокатного стану застосовують охолоджене повітря спеціальних кондиціонерів з холодильними установками компресорного типу. В якості хладагента найчастіше застосовується фреон.

Крім вентиляції з охолодженням повітря в літній час широко застосовується охолодження повітря зрошенням його водяним пилом, безпосередньо у робочих місць водорозпорозувальними форсунками, при

цьому розпилювана вода випаровується в повітрі, охолоджуючи його. При зрошенні повітря невелика кількість найтоншої водяного пилу потрапляє на одяг і на відкриті частини тіла робітників, знижуючи при цьому температуру одягу на 4-5 град і температуру відкритих частин тіла на 1-2 град.

Охолодження повітря зрошенням його водяним пилом можна застосовувати у нагрівальних печей, прокатних станів, ножиць і пил, в місцях таврування заготовок, у штабелів гарячих заготівок на складі, близько холодильників, змотувачів та інших пристроїв.

У зв'язку з тим, що в процесі виробництва агрегати прокатних цехів виділяють в приміщення значну кількість тепла, пилу і газів, ЦГПТЛ має розвинену вентиляційну систему. Витяжна вентиляція служить для видалення з будівлі цеху нагрітого і забрудненого повітря і викиду його в атмосферу. Припливна вентиляція служить для подачі в цех чистого повітря замість вилученого.

ЦГПТЛ, як правило, обладнане системою як природної, так і механічної припливно-витяжної вентиляції.

У прокатному цеху застосовують різні способи повітрообміну, залежно від яких вентиляція підрозділяється на місцеву і загальну, або, як часто її називають загальнообмінну.

У зонах виділення шкідливих речовин застосовуються місцеві вентиляційні пристрої, такі як повітряне душення, і повітряні завіси.

Повітряне душення застосовується в цеху на місцях постійного перебування робітників, що піддаються впливу інфрачервоного випромінювання інтенсивністю  $350 \text{ Вт/м}^2$ . Для усунення перегріву організму робочих припливне повітря спрямовується безпосередньо на поверхню тіла робочого у вигляді так званого повітряного обдування [28].

Повітряні завіси застосовують з метою запобігання надходження зовнішнього холодного повітря у виробниче приміщення через відкриті двері або ворота і захисту людей від його впливу. Повітряна завіса використовується також у прорізів в огорожі технологічного обладнання як

перешкоду вибивання гарячого забрудненого повітря в приміщенні та в інших випадках, коли необхідно перекрити повітряний потік через отвір.

Витяжні зонти служать для уловлювання потоків шкідливих речовин, спрямованих вгору. Вони застосовуються, коли джерело утворення пилу, парів і газів переміщається на значній площі робочого місця, як в горизонтальній, так і вертикальній площині.

При загальнообмінній вентиляції шкідливості поширюються повітряними потоками по всьому цеху, тому роль припливної вентиляції полягає в розведенні шкідливостей до допустимих норм концентрацій.

У ЦГПТЛ застосовують змішану вентиляцію, тобто одночасно загальну і місцеву.

При механічній вентиляції переміщення повітря досягається за рахунок використання механічної роботи вентиляторів. При природній вентиляції переміщення повітря здійснюється під впливом різниці питомої ваги зовнішнього повітря і повітря всередині цеху, а також в результаті дії вітру.

У прокатному цеху, повітря, нагріте від обладнання, розпеченого металу і нагрівальних пристроїв, піднімається вгору і видаляється через стулки аераційних ліхтарів в даху будівлі (рис. 4.1).

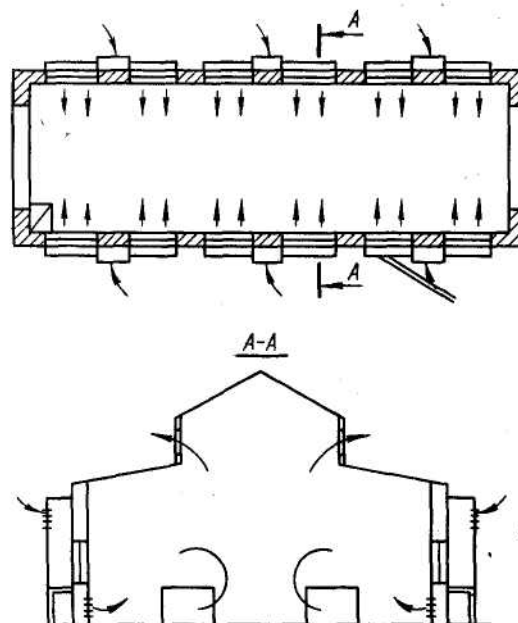


Рисунок 4.1 - Схема аерації приміщень

Для здійснення аерації є достатні за площею і правильно розташовані отвори для введення свіжого і видалення забрудненого повітря. У холодну пору року зовнішнє повітря вводять на висоті, з якою повітря, переміщуючись до робочої зони, нагрівається до необхідної температури в результаті перемішування з внутрішнім повітрям.

#### *4.2.2 Освітлення в ЦГПТЛ*

У цеху гарячої прокатки застосовується природне і штучне освітлення. Для освітлення приміщень, як правило, передбачають газорозрядні лампи низького і високого тиску (люмінесцентні, ДРЛ).

Норму освітленості вибирають залежно від характеристики зорової роботи, види якої по напруженості ділять на вісім розрядів, з подразрядів. Розряд залежить від величини об'єкта розрізнення, а подразряд від фону і контрасту між об'єктом розрізнення і фоном таблиця 4.3.

Найменша освітленість робочих поверхонь і території підприємств, які потребують обслуговування при аварійному режимі, повинна складати 5% робочого освітлення, але не менше 2лк всередині будівель і 1лк для території. Евакуаційне освітлення повинно забезпечувати найменшу освітленість на підлозі основних проходів, на землі і на сходах 0,5 лк у приміщенні і 0,2 лк на відкритих територіях. Правильне освітлення робочих місць в ЦГПТЛ має велике значення для створення безпечних умов праці [27].

Природне освітлення ЦГПТЛ здійснюється через світлові прорізи і світлові ліхтарі в даху будівель, тому його поділяють на бічне і верхнє. Рациональним вважається природне освітлення, що забезпечує хорошу рівномірність освітлення. Освітленість, створювана денним природним світлом, змінюється в широких межах: протягом декількох хвилин вона може збільшуватися або зменшуватися в кілька разів.

Таблиця 4.3 - Прийняті значення освітленості в цеху

Назва відділення ділянки	Розряд зорової роботи	Освітленість (лк) і коефіцієнт запасу при люмінесцентних лампах			Аварійне освітлення (лк)	
		Система комбінованого освітлення	Система загального освітлення	Коефіцієнт запасу	Для тривалих робіт	Евакуаційне
Стан 1680	VII	-----	150	1,5	10	0,5

Штучне освітлення в залежності від розташування джерела світла поділяють на загальне, місцеве і комбіноване. Загальне освітлення застосовується для освітлення прольотів цехів. Місцеве освітлення застосовується в якості додаткового при виконанні точних робіт, на пультах управління, на верстатах, при роботах, пов'язаних з ремонтом обладнання та нагрівальних пристроїв.

В освітлювальних установках прокатного цеху застосовуються лампи розжарювання і газорозрядні лампи. Для місцевого освітлення застосовуються лампи розжарювання. З газорозрядних джерел світла в освітлювальних установках цеху застосовуються люмінесцентні лампи і ртутні лампи високого тиску з виправленою кольоровістю типу ДРЛ.

У виробничих приміщеннях прокатного цеху застосовуються світильники наступних типів: «Універсаль» і типу «Люцетта цільна» - переважно прямого світла відкритого типу; світильники типу «куля» - розсіяного світла; світильники спеціального призначення серії РН і ВЗГ рудничного типу.

Крім робочого освітлення в прокатному цеху влаштовують аварійне освітлення. Воно призначене для безперебійного обслуговування агрегатів та устаткування у разі виходу з ладу робочого освітлення і діє від незалежного джерела електроенергії.

### *4.2.3 Захист від виробничого випромінювання*

Одним з найбільш істотних факторів, що визначають несприятливі умови праці в ЦГПТЛ, є тепловипромінювання. Для захисту робітників від тепла, випромінюваня прокатувальним металом, встановлюють водяні екрани між робочим місцем і місцем проходження гарячого металу.

Розпечений прокатуваний метал являє собою переміщувані по цеху джерела тепла. Промениста енергія на відстані 1м від прокату становить до 279 - 349Вт/м<sup>2</sup> [25].

Для зменшення тепловипромінювання в цеху максимально знижують температуру джерел променевого тепла. Зниження температури джерел випромінювання тепла в прокатних цехах практично здійснюються збільшенням товщини стінок агрегатів, теплоізоляцією їх зовнішньої поверхності або охолодженням цих поверхностей.

Для захисту працюючих від тепловипромінювання, поряд із зменшенням інтенсивності випромінювання встановлюють між джерелами тепловипромінювання і працюючими екранами або завісами, що затримують інфрачервону радіацію.

При застосуванні порожнистих екранів з циркулюючої водою або при безперервному змочуванні водою простих екранів, виконаних з листової сталі, теплове випромінювання затримується повністю.

При екрануванні необхідно залишати між тепло володіющою поверхнею і екраном повітряний проміжок (80 - 200 мм) для вільної циркуляції повітря. Якщо за характером виробництва потрібно вести спостереження за процесами, то екрани виконуються з прозорих матеріалів або густої металеві сітки.

Водяні завіси у вигляді суцільної пелени води, а також водоструменевої або водоповітряної завіси дозволяють зменшити вплив тепловипромінювання на робочих місцях на 60 - 85%, причому видимість крізь завіси істотно не

погіршується. Водяні завіси слід застосовувати, наприклад, у робочих вікон нагрівальних печей, у місцях маркування гарячого металу і т.п.

Засобами індивідуального захисту від тепловиділень є густі металеві сітки або брезентові штори зі вставленими в них синіми стеклами. Густа мідна сітка знижує теплове опромінення особи приблизно в 3-4 рази, а шторки захищають особу від тепловипромінювання майже повністю. Велике значення у боротьбі з променистим теплом і теплом, що передається конвекцією, має спеціальний одяг. Матеріал для спецодягу застосовують з незаймистих тканин, стійких проти впливу променистого тепла, міцних, м'яких, що володіють великою повітропроникністю для полегшення повітрообміну тіла людини, що працюють з навколишнім середовищем.

#### *4.2.4 Захист від виробничого пилу*

Пил при прокатці утворюється в результаті подрібнення окалини валками і випаровування внаслідок миттєвого збільшення тиску та підвищення температури.

Основними заходами щодо боротьби з пилом у прокатному цеху є: введення раціональних технологічних процесів, застосування ефективної герметизації і аспірації всіх пиловиделяючих джерел, зволоження пилу водою або парою; пристрій спеціальної пилоуловлювальної вентиляції від місць пилоутворення з очищенням повітря перед викидом його в атмосферу через систему фільтрів ( розрахунок витяжного накриття над джерелом тепло- і пиловиділення); регулярне прибирання пилу з робочих місць спеціальними пилососами, застосування індивідуальних засобів захисту (респіраторів, окулярів, спецодягу тощо).

Природний повітрообмін, як правило, не забезпечує нормальних умов праці на робочому місці. Тому в таких випадках застосовується душуюча вентиляція і водорозпилення.



Найбільш простим способом знепилювання повітря є, зрошення водою через форсунки. Ефективність дії пересувних душуючих установок підвищується при додаванні розпорошеної води. Для підвищення ефективності повітряного душування забезпечують високу дисперсність і правильне дозування розпилючої води. Що застосовується в прокатному цеху водяний захист. У цьому випадку з периферії повітряного струменя від віялових агрегатів створюється завіса із дрібнорозпиленої води, що покращує метеорологічні умови на робочому місці.

#### *4.2.5 Захист від виробничого шуму і вібрації*

Агрегати, що створюють сильний шум внаслідок вихреутворення або вихлопу повітря або газу, вентилятори, пневматичні інструменти і машини постачають спеціальними глушниками.

Зниження шуму звукоізоляцією досягається шляхом розташування оператора в звукоізольованій кабіні, звідки він спостерігає та керує технологічним процесом, забезпеченою вікном з 2 - або 3-шаровим склінням, герметичними дверима і спеціальною системою вентиляції. Від впливу прямого звуку оператори захищаються за допомогою екранів, які розташовуються між робочим місцем і прокатним станом.

За допомогою звукоізольовуючих перешкод можна знизити рівень шуму на 30 - 40 дБА. Ефективними звукоізольовуючими матеріалами є метали, бетон, дерево і т.п. [40]

Для зниження шуму в приміщенні проводять його акустичну обробку, тобто наносять звукопоглинаючі матеріали на внутрішні поверхні, а також розміщують в приміщенні штучні звукопоглиначі.

Інтенсивність вібрацій деталей агрегатів, маючи великий випромінювальний шум поверхні (корпусу агрегатів, кожухів, кришок і т. п.), зменшують таким шляхом:

- пристрої гнучких зв'язків між цими деталями і вузлами агрегату, що викликають вібрації;
- заміна металевих деталей на пластмас або інші матеріали;
- заміна підшипників кочення підшипниками ковзання у випадках, коли переважаючим шумом є шум підшипників.

Ослаблення вібрації досягається застосуванням віброізоляції віброгасильних підстав під робоче місце оператора.

Віброізоляція є засобом боротьби з вібрацією і шумом. Добре зарекомендували себе віброізолюючі опори, які застосовуються при установці виробничого обладнання. Пружинні амортизатори використовують для віброізоляції майданчиків, вентиляторів тощо.

Робітники, що працюють на машинах і агрегатах, що передають вібрацію на робочі місця, працюють у віброгасильному взутті, у разі необхідності застосовують наколінники.

Відповідно до санітарних норм і правил сумарний час контакту робітників з віброуючими поверхнями не перевищує двох третин тривалості робочого часу.

Для захисту від вібрацій застосовуються способи, основними з яких є: застосування безперервних процесів замість періодичних; застосування віброізолюючих і вибропоглинаючих матеріалів і конструкцій; якісний монтаж обладнання та його динамічне балансування; застосування динамічних гасителів вібрації.

### **4.3 Заходи з електробезпеки**

У ЦГПТЛ велика частина електроустаткування працює при напрузі до 1000 В. Різні контрольно-вимірювальні прилади, пристрій автоматики, штучне освітлення виробничих приміщень живляться від електричної мережі. Застосовують і висока напруга - 6кВ [26].

На безпеку електрообладнання суттєво впливають умови виробничого середовища, від яких залежить стан ізоляції і електричний опір тіла людини.

Відділення станового прольоту відноситься до сухого, жаркого і запиленого приміщення, т.к відносна вологість 50%, що не перевищує 60%, температура повітря +33 °С, що перевищує на 3°С і має струмопровідний пил оксиди заліза.

Підвищена температура в приміщенні прискорює старіння ізоляції, що призводить до зниження її електричного опору і навіть до руйнування. При підвищеній температурі повітря знижується опір тіла людини внаслідок поту і зволоження шкіри.

У ЦГПТЛ відділення станового прольоту за ступенем небезпеки ураження електричним струмом відноситься до особливо небезпечних приміщень, оскільки температура повітря перевищує і має струмопровідні підлоги.

Практично всі приміщення, в яких встановлено електрообладнання, за ступенем небезпеки ураження електричним струмом відносимо до приміщень з підвищеною небезпекою, оскільки приміщення цеху гарячої прокатки спекотні, що викликають значні виділення вологи на тілі людини.

При пошкодженні ізоляції електрообладнання напруга може випадково з'явитися на металевих частинах (на корпусі, кожусі, станини і т.д.), яке в нормальному положенні не знаходяться під напругою. При зіткненні з металевими конструкціями, що опинилися під напругою, виникає небезпека ураження електричним струмом.

Нещасні випадки можливі також при дії електричного струму через дугу, безпосередньо зіткненні з відкритими струмоведучими частинами і проводами (випадковому не викликавши виробничою необхідністю, або вплив помилкової подачі напруги під час ремонтів і оглядів), при дотику до металевих частин обладнання, що випадково опинилося під напругою; при торканні струмоведучих частин за допомогою предметів з низьким опором

ізоляції; при зіткненні з будівельними деталями конструкцій, що випадково опинилися під напругою; при впливі крокових напруг і ін.

Небезпека електричних поразок створює різноманітне обладнання: електричний привід, електрообладнання підйомно-транспортних пристроїв, електрифікований внутрішньозаводський транспорт, зварювальні апарати, високочастотні та освітлювальні установки, переносний інструмент і т.д.

У цехах з підвищеною температурою повітря використовують наступні заходи захисту від ураження електричним струмом:

- захист від дотику до струмоведучих частин;
- захист від дотику до обладнання, що випадково опинилося під напругою;
- захист від струмів надмірної сили (короткого замикання);

У першому випадку застосовують огорожі та ізоляцію струмоведучих частин, розміщення їх на недоступній висоті, використання зниженої напруги. У другому випадку застосовують захисне заземлення, занулення, пристрій автоматичного відключення електроустановки.

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

#### **4.4 Заходи з пожежної та техногенної безпеки**

Джерелами пожежної небезпеки в цеху гарячої прокатки є: наявність легкозаймистих і горючих рідин, горючих (природний, коксовий і доменний) газів, лакофарбових матеріалів і розчинників, промаслених матеріалів; виділення горючих сумішей і пилу в процесі виробництва на агрегатах і вентиляційних установках; іскріння в електроустановках і статичну електрику.

У таблиці 4.4 показано класифікація приміщень прокатного цеху з вибухопожежонебезпечності.

Таблиця 4.4 - Класифікація виробничих ділянок цеху з вибухопожежної та пожежної небезпеки згідно ОНТП. 24-86 і класи зон за ПУЕ

№ п/п	Відділення, дільниці, стани, агрегати, приміщення, майстерні, склади	Категорія	Клас приміщень і установок по зонах по ПУЕ
1	Верхній пічної рольганг (ВПР)	В	П-3
2	Нижній пічної рольганг (НПР)	В	П-3
3	«НТЛС-1680»	В	П-3

Усі виробничі, допоміжні та підсобні приміщення цеху повинні бути забезпечені первинними засобами пожежогасіння.

Пісок використовується для гасіння невеликих вогнищ загорання горючих рідин (різні масла, солярки), електрокабелів, електропроводки та ін. Гасіння піском проводить накиданням його на палаючу поверхню. Пісок також використовується для видалення невеликих патьоків горючих рідин, з метою обмеження розтікання горючих рідин при аварії, захисту цінного обладнання від дії теплових променів при пожежі (накидання на обладнання).

Повість використовується для гасіння невеликих вогнищ загорянь. Накидається на палаючу поверхню і ізолює її від кисню, повітря.

Вуглекислота не проводить струм, тому вона може застосовуватися для гасіння пожеж в електроустановках, що знаходяться під напругою до 1000В. У цеху використовуються ручні вуглекислотні вогнегасники ВВ-2, ВВ-3, ВВ-5, ВВ-8 з балонами ємністю відповідно 2, 3, 5, 8 літрів [29].

У ЦГПТЛ широко застосовується повітряно-пінна установка. Вона встановлюється для гасіння пожеж в початковій стадії. Її можна успішно використовувати при займанні масла в гартівних ваннах, на ділянках потокових ліній виготовлення кріпильних виробів.

У ЦГПТЛ передбачена пожежна сигналізація типу ЕПС - електронна пожежна сигналізація, забезпечена термодатчиками і датчиками полум'я.

Поширеним видом зв'язку є пожежна електрична сигналізація, яка забезпечує прямий зв'язок пожежної охорони з об'єктом, що охороняється, не вимагаючи при цьому передачі адреси пожежі.

#### 4.5 Розрахунок струму, що проходить через тіло людини, при дотику до фазного проводу трифазної трьохдротової мережі з глухозаземленою нейтраллю

Перший випадок:

- 1) опір тіла людини  $R_{ТЛ} = 600 \text{ Ом}$ ,
- 2) ємність фаз щодо землі  $C_1 = C_2 = C_3 = 0 \text{ мкФ}$ ,
- 3) опір ізоляції фаз відносно землі,  $r_1 = r_2 = r_3 = r = 4 \text{ кОм}$ .

Струм, що проходить через людину, визначається за формулою, А [28]:

$$I_{ТЛ} = \frac{U_{\phi}}{R_{ТЛ} + \frac{r}{3}}; \quad (4.1)$$

де  $R_{Тч}$  - опір тіла людини, Ом;

$U_{\phi}$  - фазна напруга мережі ( $U_{\phi} = 220 \text{ В}$ );

$r$  - опір ізоляції фаз відносно землі ( $r = 4000 \text{ Ом}$ );

Тоді струм, що проходить через тіло людини, мА:

$$I_{ТЛ} = \frac{220}{600 + \frac{4000}{3}} = 0,11 \text{ мА}.$$

Другий випадок:

- 1) опір тіла людини,  $R_{ТЛ} = 1000 \text{ Ом}$ ;

- 2) опір ізоляції фаз відносно землі  $r_1 = r_2 = r_3 = \infty$ , КОм;
- 3) місткість фаз щодо землі  $C_1 = C_2 = C_3 = C = 0,01$  мкФ;
- 4) відповідне ємнісний опір  $X_C = 90$  кОм.

Струм, що проходить через тіло людини, при його дотику до фази мережі визначається за формулою, А [25]:

$$I_{ТЛ} = \frac{U_{\phi}}{\sqrt{R_{ТЛ}^2 + \left(\frac{X_C}{C}\right)^2}}; \quad (4.2)$$

де  $U_{\phi}$  - фазна напруга, В;

$R_{ТЛ}$  - опір тіла людини, Ом;

$X_C$  - ємнісний опір, Ом.

При  $X_C = 90000$  Ом отримаємо:

$$I_{ТЛ} = \frac{220}{\sqrt{1000^2 + \left(\frac{90000}{3}\right)^2}} = 0,0073 \text{ А} = 7,3 \text{ мА}.$$

Проведений розрахунок показує, що в трифазній трехдротовій мережі з глухозаземленою нейтраллю небезпека для людини, що доторкується до одного з фазних проводів у період нормальної роботи мережі, залежить від опору проводів відносно землі: зі збільшенням опору небезпека зменшується.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Досліджено виробництво гарячекатаних штаб на неперервному стані гарячого прокатування 1680. На даний момент на ринку чорних металів є великий попит на листову і рулонну сталь з високою точністю прокату і високою чистотою поверхні, а також на рулони з масою до 16 тонн і більш.

2. Перехід на «транзитне» прокатування створило передумови для прямого прокатування слябів завдовжки 10-12 метрів і масою до 16 тонн. Для цього була модернізована чорнова група клітей стану тонколистового «1680» з перекладом електроприводу із змінного струму на постійний і організоване неперервне прокатування слябів в підгрупах чорнових клітей.

3. З метою зниження енергосилових параметрів прокатки та підвищення показників якості штаб у роботі пропонується збільшення швидкості в чорновій групі до 2,5 м/с. В результаті зміни температурно-швидкісного режиму прокатки у чорновій групі клітей є можливість підвищення температури кінця прокатки на 15-20° С, що дозволить зменшити показники поздовжньої різнотовщинності.

4. Визначені енергосилові показники прокатки штаби товщиною 2,2x1100 мм зі сталі 08пс. Максимальна сила прокатки складає 13,7 МН.

5. Вдосконалення технологічного процесу гарячої прокатки штаб на ШСГП 1680 дозволить зменшити питомі витрати електроенергії на 0,9кВт·годин/т та забезпечити економію металу від зменшення різнотовщинності кінцевих ділянок штаби на 1,74 м.

6. Розглянуті питання охорони праці та техногенної безпеки. У цеху найшкідливішим і небезпечним вважається шум, вібрація, заповищення і загазованість. Складена карта умов праці. Запропоновані заходи по зниженню впливу шкідливих чинників виробничого процесу.



## ЛІТЕРАТУРА

1. *Николаев, В.О.* Виробництво плоского прокату / В.О. Николаев, В.Л. Мазур. – Запоріжжя, ЗДІА, 2010. – 320 с.
2. *Николаев, В.А.* Горячая прокатка листов и полос / В.А. Николаев. – Запорожье: ЗГИА, 2013. – 169 с.
3. *Николаев, В.А.* Формирование толщины полосы при прокатке на широкополосных станах / В.А. Николаев. – Запорожье, ЗГИА, 2010. – 181 с.
4. *Николаев, В.А.* Прокатка широкополосной стали / В.А. Николаев, А.Ю. Путноки. - К.: Освіта України, 2009. – 268 с.
5. *Куприн, М.И.* Основы теории прокатки: [учебник для студ. высш. учеб. зав.] / М.И. Куприн, М.С. Куприна. – М.: Металлургия, 1971. – 240с.
6. *Целиков А.И.* Машины и агрегаты металлургических заводов: [учебник для студ. высш. учеб. зав.] / А.И. Целиков, П.И. Полухин – М.: Металлургия, 1981. – 576 с.
7. *Бахтинов В.Б.* Прокатное производство: [учебник для студ. высш. учеб. зав.] / В.Б. Бахтинов – М.: Металлургия, 1987. – 416с.
8. Теория прокатки: [научное издание справочник] / А.И. Целиков, В.И. Зюзин, А.В. Третьяков, Г.С. Никитин – М. Металлургия, 1982. – 335с.
9. *Василёв Я.Д.* Производство полосовой и листовой стали: [учебник для вузов] / Василёв Я.Д., Сафьян М.М. – Киев: Вища школа, Головное издательство, 1976. – 192с.
10. Технология прокатного производства: [учебное пособие для вузов] / Клименко В.М., Онищенко А.М., Минаев А.А. Горелик В.С. – Киев: Вища школа, Головное издательство, 1989. – 311с.
11. Прокатное производство: [учебник для вузов] / И.И. Полухин, Н.М. Федосов, А.А. Королев, Ю.М. Матвеев. – М.: Металлургия, 1982. – 696с.

12. Технология процессов прокатки и волочения. Листопрокатное производство: [учебник для вузов] / М.М. Сафьян, В.Л. Мазур, А.М. Сафьян, А.И. Молчанов. – Киев: Вища школа, Головное издательство, 1988. – 351с.
13. *Проников А. С.* Параметрическая надёжность машин: [издательство МГТУ им. Н. Э. Баума] / А. С. Проников. – Москва:, 2002. – 560 с.
14. *Гребеник В. М.* Надёжность металлургического оборудования (оценка эксплуатационной надёжности и долговечности) В. М. Гребеник, В. К. Цапко. – М.: Металлургия, 1989. – 592 с.
15. Седуш В. Я. Надёжность, ремонт и монтаж металлургических машин: [учебник – 3-е изд.]. – М.: Металлургия, 1992. – 368 с.
16. Техническая диагностика. Контроль и прогнозирование. Монография. / А. Я. Жук, Г. П. Малышев, Н. К. Желябина, О. М. Клевцов. – Запорожье ЗГИА, 2008. – 224 с.
17. *Колёсов К. С.* Надёжность, ремонт и монтаж технологического оборудования завод цветной металлургии / К. С. Колёсов, А. В. Вискребицкий, А. С. Москва. – М.: Металлургия, 1984. – 224 с.
18. *Чащин В. В.* Использование температурной математической модели при разработке технологии регулируемого охлаждения горячекатаной полосы в рулоне / В. В. Чащин, В. А. Капитанов, Е. С. Попов // Производство проката. - 2008. - № 8. – С. 17-23.
19. *Чащин В. В.* Технологические особенности регулируемого охлаждения рулонов полосовой стали различного назначения / В. В. Чащин, А. В. Куклев, Е. С. Попов // Труды седьмого конгресса прокатчиков. Т. 1. – М.: МОО «Объединение прокатчиков». – 2007. – С. 66-70.
20. *Чащин В. В.* Технология регулируемого охлаждения рулонов – важный этап горячей полосовой прокатки / В. В. Чащин, И. Б. Бардин // - М.: ЗАО «Металлургиздат», - 2003. - С. 121-127.
21. *Пешков В. А.* Улучшения качества горячекатаных полос регулируемым охлаждением рулонов / В. А. Пешков, В. Н. Хлопонин, В. В. Чащин // Сталь. - 1990. - №3. - С. 77-81.

22. *Трофимчук В. Д.* Дефекты прокатной стали и меры борьбы с ними / В. Д. Трофимчук. – М.: Metallurgizdat, 1954. – 631 с.

23. *Метс О. Ф.* Организация, планирование и управление производством на предприятиях чёрной металлургии / О. Ф. Метс. – М.: Металлургия – 1986. – 560 с.

24. *Чепчунов, Ю.П.* Себестоимость проката и пути ее снижения / Ю.П. Чепчунов. – М.: Металлургия, 1985. – 57 с.

25. *Жидецкий В. Ц.* Основы охраны труда. [учебник. – изд. 2-е, дополненное.] / В. Ц. Жидецкий, В. С. Джигирей, А. В. Мельников. – Львов.: Афиша, 2000. – 350 с.

26. *Вяземского Б. А.* Охрана труда [учебник для вузов/ под ред.,-2е изд. перераб. и доп.]/ Б. А. Вяземского. - М. : Высш. школа, 1982.-311 с.

27. *Ткачук К. Н.* Справочник по охране труда на промышленном предприятии./ К. Н.Ткачук, Д. Ф. Иванчук, Р. В. Сабарно, А. Г. Степанов. К.: Техника, 1991.-285 с.

28. *Панасейко С. П.* Гигиена труда и производственная санитария [учебное пособие для студентов ЗГИА ] / С. П. Панасейко. – Запорожье: ЗГИА, 2003. – 232 с.

29. *Меклер В. Я.* Вентиляция и кондиционирование воздуха на машиностроительных заводах. / В. Я. Меклер, П. А. Овчинников Справочник. – М.: Машиностроение, 1980. – 244с.