

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Машинобудівний інститут, МІР
(повне найменування інституту, назва факультету)
Обробка металів бистком
(повна назва кафедри)

Пояснювальна записка

до дипломного проекту (роботи)

магістр

(рівень вищої освіти (освітньо-кваліфікаційний рівень))

на тему Розробка технології безперервної
горлої прокатки металів зі зменшенням
кінцевими побовиженнями

Виконав: студент VI курсу, групи МБ813
спеціальності (напряму підготовки)

131 Промислова механіка
(код і назва напряму підготовки, спеціальності)

Корінь О.К.

(прізвище та ініціали)

Керівник Майорук А.В.

(прізвище та ініціали)

Рецензент _____

(прізвище та ініціали)

м.Запоріжжя
2018 рік

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Запорізький національний технічний університет
 (повне найменування вищого навчального закладу)

Інститут, факультет МІ.МФ
 Кафедра Обробка металів тиском
 Рівень вищої освіти (освітньо-кваліфікаційний рівень) магістр
 Спеціальність 131 Прикладна механіка
 (код і назва)
 Напрямок підготовки ОБЛ. технолог. масл. форм констр. машин буд.
 (код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри [підпис]

"18" 12 2018 року

ЗАВДАННЯ
НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТУ

Корінь Олександр Костянтинович
 (прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) Розробка технології безперервної гарячої прокатки шпал зі зменшеним температурним впливом

керівник проекту (роботи) Майсак Антон Крістович, канд. техн. наук
 (прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від "___" 20__ року №___

2. Строк подання студентом проекту (роботи) 17. 12. 2018

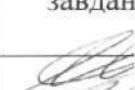
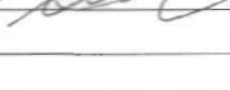
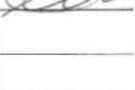
3. Вихідні дані до проекту (роботи) Звіт з магістерського стажування

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Виробництво шпал зменшеної ширини на станок гарячої прокатки. 2. Формування технології подовження шпал. 3. Подовження різновисвітлювальних при прокатці з новою технологією. 4. Оцінка впливу на безпечність в подовжувальних ситуаціях

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

Презентаційний матеріал.

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	прийняв виконав завдання
1	Майоркін А. Ю		
2	Майоркін А. Ю		
3	Майоркін А. Ю		
4	Кейзеров О. В		
керм. кадр	Майоркін А. Ю		

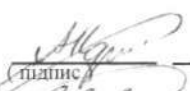
7. Дата видачі завдання 01.10.2018

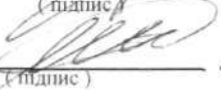
КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	При
1.	Виробництво широких смуг на базі арми протекти	27.10.18	
2.	Формування товщини подвійної шпальди	15.11.18	
3.	Повздовжня розмітання смуг при праці за новою технологією	29.11.18	
4.	Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях.	17.12.18	

Студент

Керівник проекту (роботи)

 О. К. Крив
(підпис) (прізвище та ініціали)

 А. Р. Мамон
(підпис) (прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

ПЗ: 123 с., ____ рис., ____ табл., ____ додатків, ____ джерел.

Об'єкт дослідження – технологія прокатки на ШСГП різного покоління та поздовжня різнотовщинність.

Мета роботи – розробка нової технології, яка забезпечить зменшення поздовжньої різнотовщинності.

Метод розрахунків - ітераційний.

Отримані результати і їх новизна - проведений порівняльний аналіз між технологією прокатки на широкосмуговому стані гарячої прокатки і застосуванням нової технології прокатки на комбінованому смуговому стані із застосуванням ітераційної моделі розрахунку поздовжньої різнотовщинності. Побудовано графіки залежності енергосилових параметрів, які відображають розподіл параметрів прокатки по клітках стана.

Рекомендації по впровадженню - результати дипломного проекту рекомендується застосовувати на будь-якому металургійному комбінаті в цеху гарячої прокатки.

Ефективність - за рахунок застосування розрахованого технологічного процесу економічний ефект склав 569,4 млн. грн.

ПРОКАТКА, ШТАБА, ПРОКАТНИЙ СТАН, ШСГП, ЛПМ, ТОВЩИНА, ДОВЖИНА, ПОЗДОВЖНЯ РІЗНОТОВЩИННІСТЬ, СПОСІБ, ПРИСТРІЙ, ПОКОЛІННЯ, КІНЦЕВІ ПОТОВЩЕННЯ, ТЕМПЕРАТУРА, НОВА ТЕХНОЛОГІЯ, МЕТОДИ, МОДЕЛЬ.

Зміст

Титульний аркуш	1
Завдання на проект	2
Реферат	3
Зміст	4
Перелік умовних скорочень, і термінів	6
Вступ	8
1. Виробництво широких смуг на станах гарячої прокатки.....	9
1.1. Основи технології гарячої прокатки	9
1.2. Технологія прокатування на ШСГП першого покоління	11
1.3. Прокатування смуг на ШСГП другого-четвертого поколінь	17
1.4. Виробництво смуг на ЛПМ	20
1.5. Поздовжня різнотовщинність. Причини появи та способи усунення	23
2. Формування товщини по довжині штаби	36
2.1. Теоретичні методи розрахунку поздовжньої різнотовщинності	36
2.1.1. Рівняння поздовжньої різнотовщинності штаби	37
2.1.2. Графо-аналітична модель розрахунку товщини штаби	41
2.1.3. Приріст товщини штаби виходячи з чисельного рішення диференціального рівняння	55
2.2. Вплив технологічних факторів на формування поздовжньої різнотовщинності	56
2.3. Способи і пристрої зменшення (усунення) кінцевих потовщень штаби	53
2.3.1. Додаткове обтиснення задньої кінцевої ділянки штаби	55
2.3.2. Регулювання міжвалкового зазору гідрораспором	56
2.3.3. Збільшення температури заднього кінця штаби	57
3. Поздовжня різнотовщинність при прокатці за новою технологією	60
3.1. Технологічний процес прокатки на КПС	60

3.2. Модель розрахунку енергосилових параметрів і збільшення товщини кінцевих ділянок	64
3.3 Розрахунок поздовжньої різнотовщинності для різних варіантів станів	72
3.3.1 Аналіз результатів розрахунку для ШСГП і КПС	91
3.3.2 Розрахунок економічної ефективності при прокатці на ШСГП і КПС	97
4 Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	100
4.1. Аналіз потенційних небезпек	100
4.2. Заходи по забезпеченню техніки безпеки.....	101
4.3. Заходи по забезпеченню виробничої санітарії та гігієни праці.....	112
4.4. Заходи з пожежної безпеки.....	119
4.5. Заходи по забезпеченню безпеки в надзвичайних ситуаціях.....	120
Використані джерела	122

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

- δh , мм – поздовжня різнотовщинність штаби;
- B , мм – ширина штаби;
- h , мм – товщина штаби;
- t , °C – температура по клітям стану;
- R , мм – радіус валків;
- f – коефіцієнт тертя;
- f_{II} – показник тертя;
- σ_T , Н/мм² – напруження течії металлу;
- σ_{TB} , Н/мм² – базове напруження течії;
- l_C , мм – довжина дуги контакту;
- v , м/с – швидкість прокатки;
- S – випередження;
- ε , %- відносне обтиснення;
- P_{CP} Н/мм² – середнє нормальне контактне напруження;
- P , МН – сила прокатки;
- Δh , мм – абсолютне обтиснення;
- $\tau_{МК}$, с – время проходження штаби в міжклітєвых проміжках;
- $L_{МК}$, м – міжклітєва відстань;
- L_P , м – довжина розкату;
- k_t – коефіцієнт враховуючий температуру;
- k_ε – коефіцієнт враховуючий ступінь деформації;
- k_u – коефіцієнт враховуючий швидкість деформації;
- u , с⁻¹ – швидкість деформації;
- k_B – поправочный коефіцієнт враховуючий стан поверхні валків;
- k_T – поправочный коефіцієнт враховуючий твердість валків;
- k_M – поправочный коефіцієнт враховуючий матеріал валків;
- k_V – поправочный коефіцієнт враховуючий кружню швидкість валків;

k_{CM} - поправочний коефіцієнт враховуючий тип технологічної змазки;

Δt_d , °С – підвищення температури металу за рахунок пластичної деформації;

Δt_B , °С – охолодження штаби за рахунок контакту металу з валками;

σ_P , Н/мм² – переднє натягіння;

σ_3 , Н/мм² – заднє натягіння;

M_{Pr} , МН·мм – момент прокатки;

M_{KL} , МН/мм – модуль жорсткості кліті;

ГОСТ – державний стандарт;

КПС – комбінований полосовий стан;

ЛПМ – литейно-прокатний модуль;

МНЛЗ – машина неперервного лиття заготовок;

ППУ – проміжний перемотувальний пристрій;

ПУ – пункт управління;

Рис. – рисунок;

ТСУ – теплозберігаюча установка;

ШСГП – широкополосний стан горячої прокатки.

ВСТУП

На безперервних широкосмугових станах гарячої прокатки (ШСГП) з традиційною слябовою технологією випускають смуги з товщиною $h = 1 - 16$ мм і шириною $B = 1000 - 1800$ мм.

Довжина штаби, що виходять з останньої кліті чистової групи становить $L_n = 320 - 1000$ м і більше. Такі розміри довжини штаби і особливості технологічного процесу зумовлюють коливання товщини по її довжині. При відсутності пристроїв регулювання розчину валків в процесі прокатки максимальне розходження товщини на задньому кінці смуги досягає $\delta h_n = 0,20 - 0,30$ мм. Зміна товщини смуги по довжині обумовлено:

- зменшенням температури від переднього кінця до заднього кінця смуги, що викликає зміна сили прокатки і модуля жорсткості смуги;
- коливанням температури металу по довжині смуги;
- відсутністю натягу переднього і заднього кінців смуги відповідно. При вході в кліті стану і виході з них це викликає збільшення сили прокатки;
- коливанням величин обтиску і швидкостей прокатки (секундних обсягів металу), що викликає коливання міжклітєвих натяжінь, сили прокатки і жорсткості смуги;
- ексцентриситетом робочих і опорних валків (биттям валків), що викликає гармонійне зміна міжвалкового зазору по довжині смуги.

Зниження потовщень штаби досягається різними способами. Одним з таких способів є виробництво за новою технологією на комбінованих смугових станах. Зниження сили прокатки в процесі виробництва потовщених ділянок шляхом зменшення впливу контактного тертя, яке досягається застосуванням додаткового ефективного технологічного мастила або використання спеціальних видів прокатки (несиметричний процес, прокатка - волочіння).

1. Виробництво широких смуг на станах гарячої прокатки

1.1. Основи технології гарячої прокатки смуг.

Гарячу прокатку широких штаб ($B > 900\text{мм}$) в даний час здійснюють на широкосмугових станах (ШСГП) з традиційним використанням товстих слябів (ШСГП 1-4 покоління) [1,3]. При прокатці на цих станах (при відсутності спеціальних регулюючих пристроїв) поперечна різнотовщинність штаб доходить до $0,08 \dots 0,10\text{ мм}$, а поздовжня різнотовщинність досягає $0,15 \dots 0,3\text{ мм}$ (на задніх кінцевих ділянках штаб). На ШСГП 5го покоління (із стиковим зварюванням торців суміжних 6-15 проміжних раскатів, Японія) помітне потовщення заднього кінця складової штаби має місце при прокатці тільки останнього розкату. Такі параметри різнотовщинності гарячекатаних штаб не забезпечують отримання холоднокатаних штаб з допустимою для споживача точністю в межах $0,02 \dots 0,05\text{ мм}$ і неплоскостності з висотою амплітуди в межах $\lambda \leq 3\text{ мм}$ на 1 м довжини. В значній мірі, отримання якісного профілю гарячекатаної штаби вирішується на створених в кінці 20-го століття ливарно-прокатних модулів (ЛПМ) [3], оснащених технологією і пристроями, що забезпечують отримання точного поперечного та поздовжнього профілів гарячекатаних смуг.

Однак, беручи до уваги, що експлуатація існуючих і будівництво нових ШСГП тривають [1,2] становить інтерес розглянути деякі пропозиції щодо вдосконалення технологічного процесу і використання пристроїв впливу на процес прокатки штаби. В першу чергу розглянемо причини формування поперечного та поздовжнього профілів штаби, які є загальними для широкосмугових станів будь-якого типу. До основних факторів, що впливає на точність профілю та неплоскостність штаб (при відсутності динамічного впливу на форму осередку деформації) слід вважати:

- нерівномірність розподілу температури сляба і проміжного раскату (перед чистової групою ШСГП) по ширині і довжині;

- відсутність переднього і заднього натягнення кінцевих ділянок штаби в чистовий групі ШСГП;
- нерівномірність вироблення по довжині бочок робочих і опорних валків ($HSD = \text{const}$; HSD - твердість валків по Шору);
- нерівномірність розподілу механічних властивостей по ширині і довжині штаби;
- нерівномірність товщини по ширині і довжині гарячекатаного підкату перед холодним прокатуванням;
- зміна швидкості холодного прокатування в перехідних процесах (прокатка кінцевих ділянок штаби і зі звареним швом);
- невідповідність профілювання робочих (опорних) валків формі поперечного перерізу гарячекатаного підкату, величиною і характером вироблення валків;
- відсутність раціональної системи охолодження валків і швидкохідних гідравлічних натискних пристроїв;
- неточність попереднього теоретичного визначення форми і величин профілювання бочок валків в зв'язку з відсутністю даних про закономірності (нерівномірності) розподілу погонних сил на міжвалкового контакті і на контакті штаби з валками, що визначають величину власного прогину робочого валка.

При попередньому визначенні профілювання валків стану (кліті) необхідно враховувати максимум основних збуджуючих факторів, вплив же інших факторів (нерівномірність розподілу температур, механічних властивостей, зміна швидкісного режиму прокатки і т.п.) слід зменшити або виключити, а також впливати на вогнище деформації пристроями динамічного регулювання.

В даний час широкосмугову сталь в гарячому стані прокатують в основному за трьома технологічним способами:

- злиток → катаний сляб (транзитний сляб) → гаряча прокатка смуг на ШСГП (Рис.1.1);

- МБЛЗ → литий товстий сляб → пряме прокатування (або підігрів слябів) → гаряча прокатка смуг на ШСГП (Рис.1.1, 1.2);
- гаряче прокатування штаб з тонких слябів на ЛПМ (Рис.1.3).

У 2005 р. на металургійних підприємствах світу діяли 161 товстолистових станів (ТЛС) з виробництвом 94,997 млн.т прокату, 249 ШСГП із загальним виробництвом 478,672 млн.т прокату, 70 ЛПМ з об'ємом виробництва □ 60 млн.т прокату, 20 промислових установок ВЛПМ [3].

Після гарячого прокатування рулони передають в цех холодного прокатування (ЦХП) для зменшення товщини до 0,4 ... 2,0 мм. У ЦХП гарячекатані штаби проходять такі операції: травлення для видалення окалини, холодна прокатка, рекристалізаційного відпал та інше. Останнім часом при прокатці тонких штаб ці ділянки об'єднують і створюють суміщені агрегати.

1.2. Технологія прокатки на ШСГП першого покоління.

Безперервний широкосмуговий стан гарячої прокатки (ШСГП) 1680 відноситься до станів першого покоління і має в складі чорнову і чистову групи клітей: в чорновій групі встановлені чорновий двухвалковий окалиноломатель і чотири кліті кварто. Перед останніми трьома клетями встановлено вертикальні валки для зняття розширення штаби. Окружна швидкість валків в першій кліті $v_1 = 1,02 \dots 1,09$ м/с, а в четвертій $v_4 = 2,23$ м/с. У чистовій групі шість клітей кварто, відстань між якими становить 5,84 м, а відстань між клетями №4 (чорнова група) і кліттю №5 (Чистова група) становить 64,9м. Максимальна швидкість прокатування в чистовій кліті №10 дорівнює $v_{10} = 9,2$ м/с.

Робочі валки клітей №1,2 сталеві ковані (9ХФ), а в №3-10 кліті - чавунні з вибіленою поверхнею двошарові ЛПХНд 63 ... 71. Опорні валки

сталеві ковані (9ХФ). Максимальний діаметр чавунних робочих валків $D_p = 620\text{мм}$, а опорних - $D_{оп} = 1240\text{мм}$ (в кліті №1 - $D_p = 940\text{мм}$).

На стані прокочують штаби товщиною 2 ... 6 мм і шириною 1000 ... 1500 мм. Були виконані дослідження з прокатки смуг товщиною 1,5 мм, але велике потовщення заднього кінця штаби не дозволяє поки прийняти рішення про серійне виробництво тонких смуг. Для прокатування смуг використовують катані сляби товщиною 150 ... 165 мм, шириною приблизно 1000 ... 1500 мм, довжиною 9,0 ... 9,4 м і масою 11 ... 17 т (сляби подвійної маси). Штаби товщиною менше 2,5 мм прокочують з слябів одинарної маси.

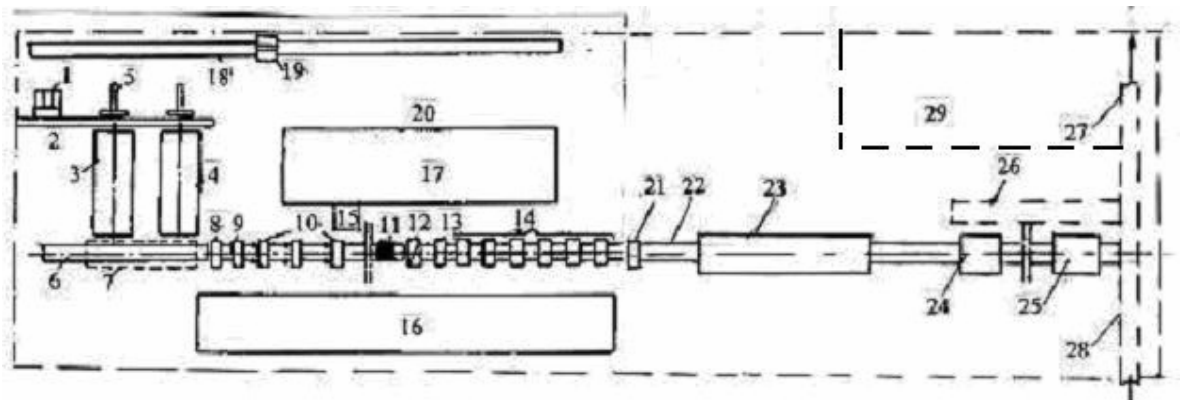


Рис. 1.1. Схема розташування обладнання на ШСГП 1680: 1-завантажувальний стіл для слябів; 2-завантажувальний рольганг; 3,4-нагрівальні печі; 5-штовхачі слябів, 6-транзитний рольганг від слябінга; 7-теплові екрани; 8-двухвалковий окалиноломатель; 9-чорнові кліті кварто з вертикальними валками; 11-ППУ; 12-летючі ножиці; 13-чистової окалиноломатель; 14-шість клітей кварто (№№5-10) чистової групи; 15-індукційна установка для підігріву робочих валків перед установкою в кліть; 16-машинний зал; 17-вальцешлифовальная майстерня; 18-рейковий шлях від слябінга; 19-візок; 20-ділянку верстатів для зачистки поверхонь слябів з якісних марок сталей; 21-вимірювач розмірів штаби; 22-відвідний рольганг; 23-душіруючого установка; 24,25-моталки, 26-конвеєр прибирання рулонів; 28-конвеєр рулонів в ЦХП; 29-ділянку оброблення рулонів.

Відповідно до графіка прокатки сляби зі слябінга 1150 по транзитному рольгангу при швидкості $v \approx 2$ м/с подають до ШСГП для прокатування до необхідних розмірів штаби (Рис.1.1). Температура сляба перед станом

становить (середня по перетину) $t_{\tilde{N}}=1170 \dots 1190 \text{ }^{\circ}\tilde{N}$ і забезпечує контрольовану температуру за кліттю №4 в межах $t_4= 1040 \dots 1120 \text{ }^{\circ}\tilde{N}$ (технологічна інструкція). З кліті №4, в залежності від товщини готової штаби, випускають проміжний розкат товщиною 18 ... 28 мм. У чорновій групі клітей при прокатці слябів подвійної маси ($G=11,0 \dots 17,0 \text{ т}$) прокочують в напівбезперервному режимі, так як довжина розкату в ряді випадків виявляється більше відстані між клітьми.

З урахуванням цього застосовують такий режим спільної парної прокатки: чорновий окалиноломатель - кліть №1, кліті №2-№3; кліті №3-№4. Деяка невідповідність секундних обсягів в клітях №2-№4 частково усувають регулюванням міжвалкового зазору в кліті №3. Хоча доцільним є заміна головних приводів в клітях №2-№4.

Після виходу з кліті №4 довгі розкати змотують на проміжному перемотувальній пристрої (ППУ-Coilbox), а після закінчення змотування рулон подають на розмотувальний пристрій. Відігнутий кінець проміжного розкату (колишній задній кінець після кліті №4) зі швидкістю $v \approx 1,5 \dots 2,0 \text{ м/с}$ подають в кліть №5 чистової групи. На стані в основному прокочують тонкі штаби (2,0 ... 3,0 мм) зі швидкістю в чистової кліті №10 до $v_{10} \leq 9,2 \text{ м / с}$ при міжклітвом натягу штаби $\sigma_H \approx 15 \text{ Н/мм}^2$.

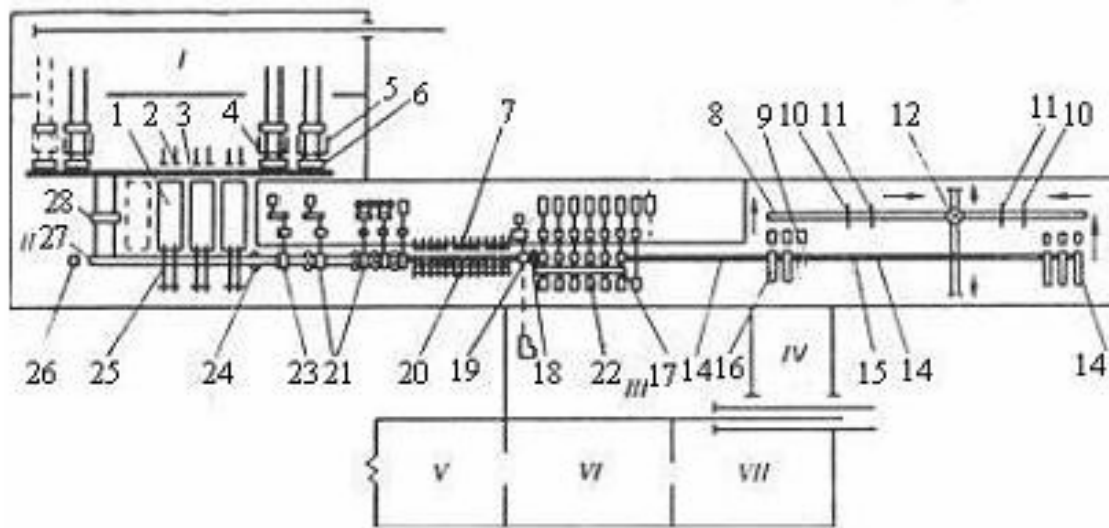


Рис.1.2. Схема розташування обладнання стану 2000 Череповецького металургійного комбінату "Северсталь": I - склад слябів; II - проліт стану, III - ділянка підігріву валків; IV - насосна станція; V - майстерня ревізії підшипників кочення; VI - вальцешлифовальна майстерня; VII- склад валків; 1 -нагрівальна піч; 2 - штовхувачі слябів у печі; 3 - завантажувальний рольганг; 4 - візок для слябів; 5 - штовхувачі слябів біля столу; 6 - підйомний стіл; 7- скидач недокатів; 8 - конвеєри рулонів; 9 - кантувач рулонів; 10 - маркировщик рулонів; 11 - рулоні-в'язальна машина; 12 - підйомно-поворотний стіл; 13 - друга група моталок; 14 - системи охолодження смуг на відвідних рольгангах; 15 - відводять рольганги; 16 - перша група моталок; 17 - чистове група клітей; 18 - чистової роликовий окаліноломатель; 19 - летючі ножиці; 20 - кишень для недокатів і товстих смуг; 21 - чорнові чотирехвалкову універсальні кліті; 22 - механізми для зміни валків; 23 - двухвалковая чорнова кліть; 24 - вертикальна кліть; 25 - приймач слябів; 26 - стаціонарний упор; 27 - приймальний рольганг для слябів; 28 - передавальна візок для слябів

Температура закінчення прокатки смуг в залежності від хімічного складу і товщини ($h \geq 2,0 \text{ мм}$) регламентуються в межах $t_{10} \approx 830 \dots 910^\circ \text{N}$ і регулюється швидкістю прокатки. Температура змотування штаби моталками становить $t_{\text{см}} = 560 \dots 650^\circ \text{N}$ і, разом з температурою закінчення прокатки, визначає механічні властивості прокату.

Технологічний процес прокатки штаби на станах першого (другого) покоління має такі недоліки.

1. Прокатування із злитків супроводжується великою витратою металу на кінцеву обріз (коефіцієнт витрати металу 1,12 ... 1,25) внаслідок необхідності видалення усадочної рихлості і прибуткової частини слябів. Крім того, структура злитка характерна наявністю стовпчастих кристалів, газових бульбашок, неметалевих включень, нерівномірністю розподілу хімічних елементів в об'ємі злитка. Усе зазначене погіршує пластичні властивості готової штаби.

2. Перед прокатуванням на обтисному стані (слябінгу) злитки нагрівають в нагрівальних колодязях до температури $t_{\text{наг}} \approx 1220 \dots 1250 \text{ } ^\circ\text{N}$, що вимагає значної витрати газу і підвищує вартість прокату. Застосування останнім часом посадки злитків в колодязі з підвищеним вмістом тепла (з рідкою серцевиною) забезпечує скорочення витрат природного газу, часу нагрівання злитків в колодязях, витрати електроенергії на прокатку зливків в сляби [2]. Енерговитрати істотно зростають при нагріванні злитків холодного посаду ($t_{\text{пос}} < 700 \text{ } ^\circ\text{N}$).

3. Транспортування слябів по транзитному рольгангу від слябінга до ШСГП без теплозберігаючих екранів призводить до зниження температури сляба на $20 \dots 30 \text{ } ^\circ\text{N}$, що викликає підвищення контактних напружень в осередках деформацій клітей ШСГП, підвищення енергосилових параметрів, додатковий знос поверхонь валків.

4. До підвищеної втрати температури розкату призводить також значні відстані між клітьми чорнової групи і, отже великий час проходження розкатом по рольгангу чорнової групи. Застосування напівнепривного процесу прокатування в чорновій групі клітей не покращує теплосодержання розкату, але дозволяє збільшити масу сляба (рулону).

5. Відстань між останньою кліттю чорнової групи і першої кліттю чистової групи становить ~ 65 м. На цій ділянці проміжного рольганга температура розкату товщиною $h_{\text{пр}} \leq 28$ мм, що переміщається зі швидкістю $v_{\text{пр}} \approx 2,23$ м/с, знижується на $60 \dots 90 \text{ } ^\circ\text{N}$, а при прокатці в чистовий групі

швидкість заднього гуркоту зменшується до $v_{5\zeta} \approx 0,8 \dots 1,0$ м/с ($h_{10} = 2,5$ мм). При цьому температура заднього кінця розкату при вході в кліть №5 виявляється на $\Delta t_{iD} \approx 55 \dots 65^\circ \tilde{N}$ менше, ніж переднього кінця (Δt_{iD} - температурний градієнт по довжині розкату). Абсолютне зниження температури на проміжному рольгангу з $t_4 = 1040 \dots 1120^\circ \tilde{N}$ до $t_5 = 960 \dots 1030^\circ \tilde{N}$ перед кліттю №5 викликає підвищення енергосилових параметрів прокатки штаби в клітках чистової групи, підвищення зносу поверхонь валків і їх витраті. Зменшення температури по довжині штаби в процесі прокатки (Δt_{iD}) призводить до монотонного збільшення товщини штаби до заднього кінця.

Наявність на проміжному рольгангу пристрою Coilbox (ППУ) дозволяє розкат, що виходить з останньої кліті чорнової групи, змотувати в рулон з подальшою зміною напрямку прокатки розкату в чистовий групі ШСГП. Новий процес прокатки на ШСГП 1680 забезпечує градієнт температур по довжині розкату $\Delta t_{iD} \approx 10 \dots 30^\circ \tilde{N}$ [13] (менша температура на задньому кінці розкату).

6. На станах першого покоління недостатня потужність головних приводів, невеликі діаметри валків, порівняно низька твердість робочих валків, кліті оснащені електро-механічними нажимними пристроями, які не мають високої швидкості вертикального переміщення натискних гвинтів для точного і швидкого регулювання міжвалкового зазору і товщини штаби (в подальшому потужності головних приводів збільшені).

7. На безперервних станах кінцеві ділянки смуг прокочують без натягнення, що призводить до додаткового потовщення кінців. Особливо це відноситься до заднього кінця, прокочується без заднього натягу. Відсутність заднього натягу і, внаслідок цього, збільшення сили прокатки, викликає появу додаткового потовщення штаби на задньому кінці штаби. У сумі, з

урахуванням впливу температурного градієнта, це потовщення на задньому кінці штаби може складати $\delta h \approx 0,12 \dots 0,25$ мм.

1.3 Прокатка смуг на ШСГП другого-четвертого поколінь.

ШСГП 2000 ВАТ "Северсталь" введений в експлуатацію в 1974р. І ставитися до станам третього покоління (Рис.1.2). На стані прокочують штаби товщиною 1,2-16 мм, шириною 1000 ... 1850 мм з слябів товщиною 200 ... 300 мм і масою до 36 т. Максимальна швидкість прокатки в кліті №12 до 21 м/с. На ШСГП третього-четвертого поколінь використовують литі сляби з МНЛЗ після зачистки поверхні і нагрівання в печах до температур $1230 \dots 1250$ °N. Останнім часом, при належній якості поверхонь литих слябів, переходять на пряму прокатку слябів на ШСГП (без зачистки поверхні, але з підігрівом слябів в печах) [1]. На відміну від станів першого покоління на станах наступних поколінь скорочена довжина чорнової групи клітей за рахунок застосування безперервних груп з 2х-3х клітей, збільшена довжина проміжного рольганга (97,5 ... 110м) і збільшено кількість клітей: в чорновій групі до 5 клітей, в чистовій кліті - до 7 клітей. На деяких ШСГП для чорнової прокатки сляба до проміжного розкату використовують одну чотирьохвалкову реверсивну кліть (стан четвертого покоління). На ШСГП другого-четвертого поколінь встановлюють проміжні перемотувальні пристрої (ППУ).

На ШСГП другого-четвертого поколінь для нагріву слябів застосовують печі з крокуючими балками, що виключає появу охолоджених ділянок сляба з так званими "глісажними мітками". Їх відсутність підвищує точність прокочуються смуг. Діаметр робочих валків в чорновій групі змінюються в межах 960 ... 1400мм (менші діаметри в останній кліті чорнової групи), а опорних валків в межах 1350 ... 1630 мм. Збільшений діаметр робочих валків в перших клітях чорнової групи забезпечує надійне захоплення розкату, а зменшений діаметр робочих валків в наступних клітях

дозволяє зменшити силу і потужність прокатки. У чистової групі клітей застосовують робочі валки з діаметром 760 ... 850 мм. На деяких станах діаметр валків в останніх клітях зменшують до 575 ... 760 мм в зв'язку зі зменшенням обтиску і сили прокатки штаби і з метою зменшення витрат на утримання обладнання. На деяких станах довжина бочки опорних валків становить 0,85 ... 0,92 від довжини бочки робочих валків, що усуває защемлення кінцевих ділянок робочих валків і покращує поперечний профіль смуг. Допустима сила прокатки на подібних станах становить 33 ... 50 МН [2].

На всіх станах встановлені потужні вертикальні окалиноломателі перед чорнової і горизонтальні перед чистової групами клітей, які забезпечують не тільки злом окалини, але в ряді випадків, і редукування сляба по ширині (в чорновій групі).

Потужність головних приводів робочих валків змінюється в широких межах і зумовлена розміром слябів, шириною штаби і швидкістю прокатування. Так, на стані 2050 „Baostill” (Китай) встановлені такі двигуни по клетям (кВт):

Чорнова група	Чистова група
1 - $N=2 \times 2850$;	5,6,7,8 – по $N=2 \times 5000$;
2 - $N=2 \times 6200$;	9,10 – по $N=2 \times 4500$;
3 - $N=9000$;	11 - $N=5000$.
4 - $N=9000$.	

Перша кліть стану (двуваљкова з діаметром валків 1400мм) служить в якості окалиноломателя, а наступні кліті з меншим діаметром валків і тому мають головні приводи меншої потужності. У чистової групі потужності головних приводів також диференційовані по клітям стану відповідно до діаметрів робочих валків і силовими параметрами прокатки (діаметри валків, мм: №5-7 - $D_p = 850$, №8-11 - $D_p = 760$). Така диференціація діаметрів валків

по клітям чистової групи дозволяє зменшити витрати на утримання стану, зменшити енерговитрати на прокатку, покращує умови прокатки тонких штаб з необхідною точністю.

На станах 2-4 поколінь в чистових групах клітей штаби прокочують зі змінною швидкістю по довжині (у часі), що обумовлено конструкцією сучасних моталок, що забезпечують захоплення переднього кінця готової штаби при швидкості лише $V_M = 10 \dots 12$ м/с. Тому в початковий період (до захоплення штаби моталкою) смугу прокатують зі швидкістю $V_{\text{ч}} = V_M = 10 \dots 12$ м/с ($V_{\text{ч}}$ - швидкість штаби, що виходить з чистової кліті), а після цього швидкість робочих валків чистової групи синхронно збільшують до максимально можливої швидкості для конкретного профілю. Прискорення валків стану забезпечує не тільки підвищення його продуктивності, а й зниження поздовжньої різнотовщинності штаби внаслідок зменшення впливу температурного градієнта (температурного клину) проміжного розкату.

Таким чином, на (ШСГП) 2-4 поколінь практично усунуті 6 з 7 недоліків ШСГП першого покоління (див. вище). Залишилося невирішеним завдання компенсації відсутності натягіння кінцевих ділянок штаби (п.7). Особливо заднього кінцевого ділянки штаби. Відома пропозиція [6] по додатковому обтисненню задньої кінцевої ділянки штаби в клітях стану не може бути універсальним, тому що ефективність знижується при збільшенні жорсткості штаби, тобто при прокатці тонких смуг. Відомі й інші способи зменшення товщини штаби на задньому кінці штаби (докладніше це розглянуто в розділі 2).

Кардинальне вирішення усунення потовщень кінцевих ділянок запропоновано фірмою "Кавасакі Стіл" (Японія) для ШСГП 2050. На цьому стані після ППУ встановлені кінцеві ножиці і стикосварочна машина для зварювання під тиском при температурі $1400 \dots 1600$ °N - решт двох суміжних розкатів. У нескінченному процесі прокочують 6-15 смуг після чого слідує пауза для охолодження валків і потім новий період нескінченної

прокатки. Наявність паузи між періодами нескінченного процесу є основним недоліком такої технології. Незважаючи на значне зменшення позовжньої різнотовщинності штаби при нескінченному процесі Ю.В. Коновалов [4] вважає, що такий процес смугової прокатки не має перспектив розвитку.

1.4 Виробництво смуг на ЛПМ.

Подальше вдосконалення технології прокатки смугової сталі проявилось у створенні ливарно-прокатних модулів (ЛПМ) [2,3], продукція яких виявилось більш дешевою та якісною, ніж на традиційних ШСГП. Схема розташування обладнання двоструменного ЛПМ-2000 представлена на Рис.1.3.

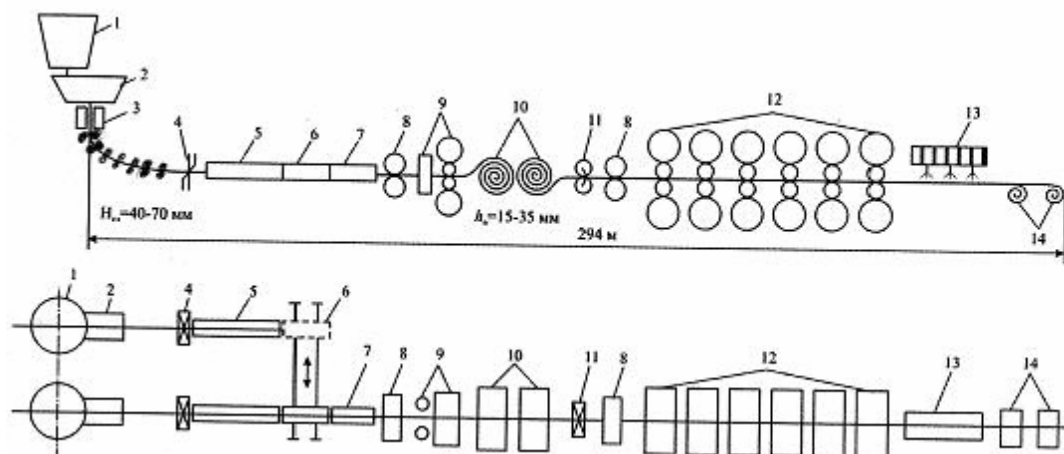


Рис.1.

3. Схема розташування основного обладнання ЛПМ фірми «Даніелі» [2,3]: 1-розливний ківш; 2-проміжний ківш; 3-Крісталізатори; 4-ножиці; 5-тунельна піч; 6-паром; 7-піч витримки (термостат); 8-окаліноломатель; 9-універсальна кліть; 10-ППУ; 11-летючі ножиці; 12-чистове група клітей; 13-душуюча установка; 14-моталки.

Рідкий метал з ковшів 1 і 2 потрапляючи в кристалізатор 3 частково твердне в зовнішніх зонах, обтискається ("м'яке обтиснення") на 10 ... 20 мм (з 50 ... 90 мм на вході в ролики до 40 ... 70 мм на виході з них - перед ножицями 4) . Швидкість виходу литого сляба з кристалізатора 3 ... 7,5 м/хв. У печі 5 довжиною 44 м сляби нагрівають до температури 1100 ... 1150 °Ñ і (або через "паром" - візок 6) транспортують в прохідну піч 7 - для підігріву, в окаліноломатель 8 і універсальну кліть кварто 9, в якій тонкий сляб обжимають до товщини 15 ... 35 мм і змотують в ППУ для збереження температури розкату в межах допустимої (1000 ... 1020 °Ñ перед чистовою групою клітей 12). У чистовій групі є 6 клітей кварто з пристроєм осевого регулювання міжвалкового зазору (останні 3 кліті). Робочі кліті №№1-3 мають робочі валки діаметром $D_p = 800$ мм, а кліті №№4-6 мають валки з $D_p = 610$ мм, діаметр опорних валків становить $D_{оп} = 1450$ мм. Довжина робочих валків 2000 мм, а опорних всього 1700 мм, що є доцільним. Допустима сила прокатування в клітях №№1-3 - $P_{доп} = 40$ МН, в клітях №№4-6 - $P_{доп} = 30$ МН. На ЛПМ-2000 прокатують штаби товщиною 1 ... 16 мм, шириною 800 ... 1800 мм в рулони масою 31 т при його питомій масі 20 кг/мм. На інших ЛПМ прокочують штаби товщиною 0,7 ... 0,8 мм і питомою масою до 25 кг/мм.

Досягнуте в даний час максимальне виробництво смуг на двоструменевом ЛПМ становить близько 2 млн.т. на рік. Скорочення витрат по переділу на ЛПМ забезпечує собівартість прокату в межах 225 \$/т (на ШСГП для подібного сортаменту 285 \$/т) [4]. При прокатці штаби на ЛПМ досягається її висока точність. Так, для штаби товщиною 1,2 ... 4,0 мм поздовжня різнотовщинність на основній довжині становить 0,04 ... 0,05 мм. Однак і при прокатці на ЛПМ кінцеві ділянки прокочують без натягіння, що викликає збільшення сили прокатки і потовщення штаби на зазначених ділянках. Очевидно, під час прокатки штаби з товщиною $h > 2$ мм можна компенсувати відсутність натягіння шляхом додаткового обтиску всіх

ділянок (особливо заднього при наявності гідравлічних натискних пристроїв) або будь-яким іншим способом. При прокатці тонких смуг ($h < 1,6 \text{ мм}$) застосування додаткового обтиску буде не ефективним внаслідок підвищення жорсткості штаби. На смугових станах ЛПМ ускладнюється варіювання технологічними параметрами для отримання штаби з різними механічними властивостями.

Ю.В. Коновалов [4] зазначає, що ЛПМ ідеальний агрегат виробництва продукції не тільки сортаменту ШСГП, але і частково товстолистових станів. Їх доцільно застосовувати не тільки на міні-заводах, а й на інтегрованих металургійних підприємствах. В роботі [4] також наголошується, що на великих металургійних підприємствах з потужністю понад 4 млн.т в рік листового циклу існуючі ШСГП ще досить тривалий час будуть працювати і буде тривати їх будівництво з урахуванням існуючих досягнень і появи нових технологічних рішень, так як конкурентні ЛПМ з річним виробництвом 3 ... 4 млн.т поки відсутні.

1.5. Поздовжня різнотовщинність. Причини утворення і способи усунення.

На безперервних широкосмугових станах гарячої прокатки (ШСГП) з традиційною слябовою технологією випускають штаби з товщиною $h = 1 - 16 \text{ мм}$ і шириною $B = 1000 - 1800 \text{ мм}$ [1]. Довжина смуг, що виходять з останньої кліті чистової групи становить $L_p = 320 - 1000 \text{ м}$ і більше. Такі розміри довжини смуг і особливості технологічного процесу зумовлюють коливання товщини штаби по її довжині. При відсутності пристроїв регулювання розчину валків в процесі прокатки максимальне розходження товщини на задньому кінці штаби досягає $\delta_f = 0,20 - 0,30 \text{ мм}$.

На ШСГП штаби прокатують з деякою поперечною і поздовжньою різнотовщинністю. Крім того, кожен лист має неплщинність. Поперечна різнотовщинність є різниця товщини по осі і на кромках штаби, тобто

$$\delta_n = h_c - h_{кр},$$

де h_c і $h_{кр}$ - товщина штаби в середині і на кромці штаби (на відстані 40 мм від самої кромки).

У загальному випадку поперечна різнотовщинність обумовлена величиною прогину валкової системи. Для зменшення впливу прогину і зниження поперечної різнотовщинності застосовують спеціальне профілювання робочих і опорних валків, зменшують знос валків різними методами, використовують інтенсивне охолодження валків і теплове регулювання профілю валків, вузькі штаби прокочують після прокатки широких смуг, що зменшує вплив вироблення валків. Оптимальна поперечна різнотовщинність смуг становить 0,03-0,05 мм, при якій поперечна форма зазору між робочими валками має опуклий "чічевіцеобразний" вид. Така форма міжвалкового зазору забезпечує центрування по осі валків (кліті) і запобігає зміщенню штаби на край бочок валків з подальшим збільшенням поперечної різнотовщинності або "забурюванням". Збільшення поперечної різнотовщинності $\delta_f > 0,03-0,05$ мм призводить до збільшення витрати металу за рахунок збільшення маси одного погонного метра готового листа. У практичних умовах, особливо на ШСГП старої споруди, поперечна різнотовщинність досягає $\delta_f \approx 0,1$ мм.

Поздовжня різнотовщинність прокатої штаби в загальному випадку обумовлена [2]:

- відсутністю натягу кінцевих ділянок смуг при заправці штаби в кліті стану і виході заднього кінця штаби з клітей стану;
- наявністю потовщень штаби на ділянках контакту слябів з глісажними трубами нагрівальних печей, внаслідок чого на цих ділянках знижується температура сляба (розкату, штаби);

- зниженням температури розкату (штаби) по довжині від переднього до заднього кінця внаслідок більш пізнього входу заднього кінця в кліті чистової групи;

- наявністю ексцентриситета діаметрів бочок валків внаслідок чого під час їх обертання змінюється висота міжвалкового робочого зазору і, отже, товщина штаби (високочастотна поздовжня різнотовщинність).

Вплив першого фактора (відсутність натягу кінців смуг) обумовлено тим, що при прокатці з натягом (прокатка штаби у всіх клітях) в осередку деформації виникають поздовжні напруження розтягу σ_n , дія яких зменшує величину поздовжніх підпирають напруг σ_z і, відповідно до відомого вираза [2] :

$$\sigma_l = \sigma_\phi + \sigma_z \quad \text{или} \quad p = \sigma_\phi + \sigma_z,$$

середнє нормальне контактне напруження (p) в осередку деформації зменшується (де σ_1 і σ_z - головні максимальне і мінімальне напруження; σ_ϕ - опір металу деформації). Разом з цим зменшуються зусилля прокатування, міжвалковий зазор і товщина штаби. При прокатці кінця штаби без натягу відсутня напруга σ_n , середнє нормальна напруга (p) і зусилля прокатки зростають, що призводить до збільшення пружних деформацій валків і деталей кліті і, разом з цим, міжвалкового зазору і товщини штаби.

Зниження температури розкату (штаби) у другому і третьому випадках пов'язано зі збільшенням напруги течії металу (опір деформації металу) і, відповідно до наведеного вище виразом, середнє нормальне контактне напруження зростає. Збільшуються зусилля прокатки, пружні деформації валків, самої кліті, міжвалкового зазору і товщини штаби.

Нерівномірне обтиснення по ширині штаби, внаслідок невідповідності профілювання валків їх згину і зносу, нерівномірності температури розкату (штаби) по ширині призводить до появи неплоскостності (непланшетності). При цьому при більшій величині деформації кромки штаби виникає дефект неплоскостності у вигляді хвилястості, а при більшому, ніж на кінцях, обтисненні середній частині ширини утворюється коробоватість. Поява цих

дефектів обумовлено великими коефіцієнтами витяжок і довжиною штаби на цих ділянках. На кордонах між ділянками більшої і меншої витяжок з'являються напруження розтягу, які, в разі перевищення напруги (межі) міцності призводять до появи розривів штаби.

Для підвищення поздовжньої точності штаби застосовуються різні системи автоматичного регулювання, технологічні методи і пристрої, що дозволяють в певній мірі зменшити подовжню різнотовщинність. Однак повністю усунути негативний вплив температурного перепаду по довжині прокочуємої штаби, а також відсутності при прокатці кінців штаби повного натягу не мається можливим. Внаслідок цього товщина заднього кінця штаби виявляється на $\delta h_f = 0,05-0,25$ мм більше номінальної товщини (δh_f - поздовжня різнотовщинність). Поздовжня різнотовщинність на інших локальних ділянках (передній кінець штаби, ділянку глісажних міток, коливання температури і механічних властивостей металу, биття валків) істотно менша ($\delta h_f = 0,02-0,12$ мм).

Поздовжня різнотовщинність штаби це різниця в її товщині в різних точках довжини:

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

де h_m - мінімальна товщина штаби на її довжині; h_i - товщина штаби в різних ділянках (і-номер ділянки штаби).

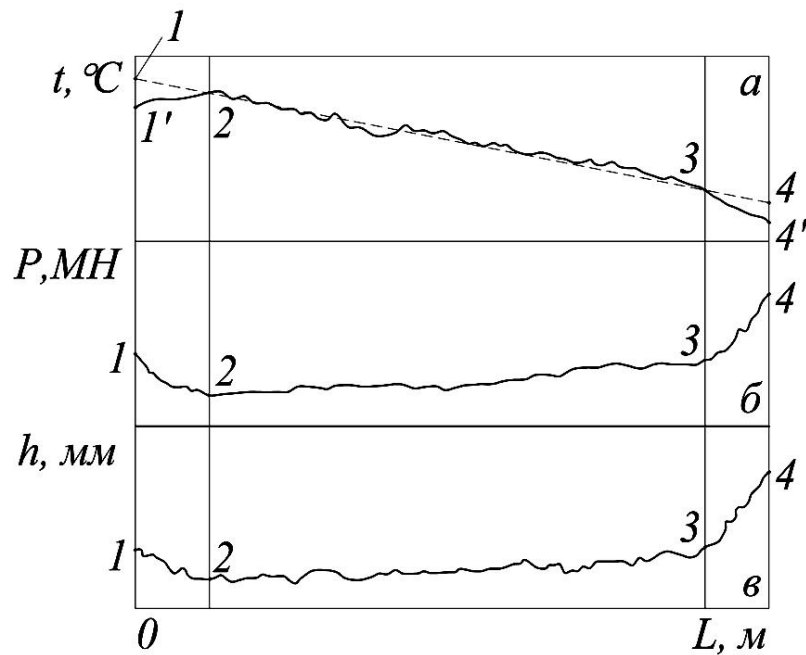


Рис.1.4. Зміна температури (а), зусилля (б) і товщини (в) по довжині прокочується штаби на традиційному ШСГП

На рис. 1.4 показаний характер зміни параметрів прокатки штаби для ШСГП з транзитної (прямою) схемою технологічного процесу. Ділянка 1 - 4 відповідає ідеалізованій схемі зменшення температури розкату від переднього кінця (1) до заднього (4).

Однак кінцеві ділянки отримують додаткове охолодження від торцевих поверхонь. Тому фактичні температури на кінцях розкату будуть нижче на 10-15 °С (ділянки 1', 4'). На ділянці 2 -3 відбувається зниження температури внаслідок більш пізнього входу заднього кінця розкату в чистову групу клітей. В відповідність зі зміною температури по довжині смуги змінюється зусилля прокатування (Рис.1.4, б) і товщина смуги що прокатується (Рис. 1.4, в). При наявності ППУ ділянку 2-3 (Рис. 1.4, в) прокатується практично з однаковою товщиною, а товщина штаби на ділянках 1 і 4 трохи більше. Наведені дані відносяться до прокатці на ШСГП, без регулювання міжвалкового розчину по довжині прокочуємої штаби.

Для зниження поздовжньої різнотовщинності штаб ефективні прискорення валків чистової групи сталі після захоплення переднього кінця смуги моталкой і застосування койл-боксу (ППУ - проміжного

перемотувального пристрою), що встановлюється на проміжному рольгангу перед ножицями обрізки кінців розкату. Найбільш раціональним є установка ППУ, застосування якого забезпечує високу температуру розкату перед чистової групою (до 1000 °С) і градієнт температур по довжині розкату в межах 10 -30 °С (задній кінець з меншою температурою).

Зазначені способи практично усувають подовжню різнотовщинність майже на всій довжині готової штаби, крім кінцевих ділянок, що прокочуються без перегинів. Для зменшення товщини кінцевих ділянок слід застосовувати додаткові обтиски починаючи з першої кліті чистової групи для ШСГП з традиційною схемою технології прокатки. Відзначимо, що коливання товщини підкату для чистової групи клітей формуються в основному в останній кліті чорнової групи.

При гарячій прокатці штаб на традиційних безперервних станах при відсутності регулювання міжвалкового зазору характер поздовжньої різнотовщинності штаби має вигляд, показаний на Рис.1.5.

В період заповнення чистової групи стана передній кінець штаби по черзі обтискається в першій і наступних клітях. При цьому на всіх міжклітевих ділянках передній кінець штаби прокочується без натягу і тому товщина смуги на передньому кінці отримує потовщення δh_f . Потовщення зменшується до точки a , поки передній кінець смуги вийде з останньої кліті групи.

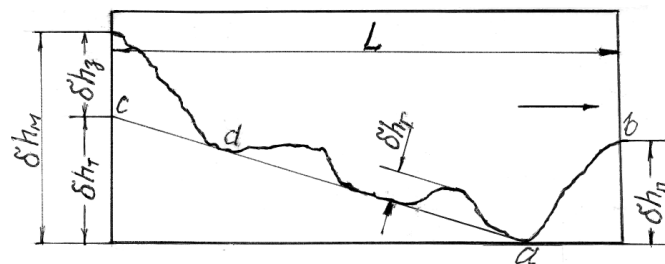


Рис.1.5. Характер поздовжньої різнотовщинності штаби під час гарячої прокатки

Після цього моменту натяг (величина напружень натягу $\sigma_n = 10-20$ МПа) діє на смугу на всіх міжкліткових ділянках. Від точки «а» до точки «с» товщина штаби збільшується, а її приріст становить δh_T . Таке збільшення обумовлено зниженням температури розкату, передній кінець якого заходить в першу кліть чистової групи на 1-2 хв раніше, ніж задній кінець. Тобто задній кінець розкату деформується при меншій температурі, внаслідок наявності температурного клину. При нагріванні слябів в методичних печах з глісажними трубами по довжині штаби виникають потовщення δh_T , що є результатом зниження температури сляба в місцях контакту з глісажними трубами. При нагріванні слябів в печах з крокуючими балками або при прямій (транзитній) прокатці потовщення δh_T відсутні. У точці «d» задній кінець штаби виходить з першої кліті чистової групи і пропадає заднє натягіння штаби на міжкліткових ділянках. Внаслідок цього зростає зусилля прокатування, а разом з цим збільшуються міжвалкові зазори і товщина штаби.

Крім зазначених існує також високочастотна позовжня різнотовщинність, утворена ексцентриситетом діаметрів валків. За рахунок биття валків змінюється зазор між робочими валками і, відповідним чином, товщина. Високочастотна позовжня різнотовщинність під час гарячої прокатки штаб становить $\delta h_{gr} = 0,01-0,03$ мм і максимальна її величина відповідає випадку коли ексцентриситети (овальність) робочих і опорних валків збігаються. Підвищення точності виготовлення валків знижує позовжню різнотовщинність смуг.

Приріст товщини накопичується від першої кліті до наступної і на виході з чистової досягає максимуму δh_z . Нижче наведені дані про позовжньої різнотовщинності смуг отримані на стану 2000 НЛМЗ (Росія) і 1680 меткомбінату «Запоріжсталь»:

	2000	1680
δh_m	0,10-0,22	0,15-0,22
δh_n	0,03-0,10	0,06-0,10
δh_T	0,02-0,07	0,03-0,09
δh_r	0,02-0,07	0,03-0,06
δh_z	0,06-0,17	0,10-0,16

Усунення зазначених видів позовжньої різнотовщинності на традиційних ШСП виконують різними методами. Наприклад, прискорення валків чистової групи сталі на $0,02-0,1 \text{ м/с}^2$ забезпечує збільшення температури до кінця довжини штаби за рахунок підвищення роботи деформації і, разом з цим, зниження різнотовщинності δh_T (Рис.1.5). Прискорення обертання валків відбувається після захоплення переднього кінця штаби моталкой, а задній кінець штаби випускають з чистової кліті з максимально можливою швидкістю, яка обумовлена характеристикою головного приводу, довжиною штаби і одержуваною товщиною штаби. Однак прискорення валків чистової групи сталі не може ліквідувати потовщення кінців δh_n і δh_z внаслідок відсутності їх натягу на межклетевих ділянках. На ці потовщення впливає система автоматичного обтиску решт штаби в перших чотирьох клітях чистової групи. На багатьох ШСП застосовують системи регулювання товщини (САРТ) штаби з використанням гідравлічних натискних пристроїв, що забезпечують значне зменшення позовжньої різнотовщинності смуг. Застосування САРТ з гідравлічними нажимними пристроями дозволяє отримувати допуск по товщині $\delta h = 0,025-0,05 \text{ мм}$ на 96-98,5% довжини штаби. Застосування САРТ усуває (зменшує) різнотовщинність смуг видів δh_T , δh_n , δh_z . Цьому сприяють зниження величини температурного клину і підвищення середньої температури проміжного розкату.

Для збереження температури розкату і зниження температурного клину по його довжині перед чистової групою ШСГП на проміжному рольганзі встановлюють тепловізображуючі і теплозберігаючі екрани. Досвід експлуатації екранів показує, що середня температура розкату підвищується на 15-20 °C, а температурний клин з 80-100 °C без екранів зменшується на 25-30 °C і більше.

Кардинальне зниження значень температурного клину при одночасному підвищенні температури забезпечується застосуванням між чорнової і чистової групами клітей проміжного - перемотувального пристрою (ППУ) - койл-боксу, в якому розкат товщиною $H = 26-30$ мм змотується в рулон, що є акумулятором тепла. Цей пристрій забезпечує перед входом в чистову групу зміну положення переднього кінця розкату на задній кінець. Койл-бокс дозволяє повністю усунути температурний клин проміжного розкату і, отже, усунути подовжню різнотовщинність δh_l . Застосування теплозберігаючих пристроїв і койл-боксу виключає місцеву різнотовщинність δh_l від глісажних труб нагрівальних печей.

На сучасних технологічних лініях виробництва гарячекатаних штаб основною проблемою залишається усунення поздовжньої різнотовщинності, що виникає внаслідок відсутності натягу кінцевих ділянок смуг в безперервних групах клітей. Для усунення цієї різнотовщинності необхідне застосування САРТ смуг.

Шірокополосні стани гарячої прокатки (ШСГП) продовжують зберігати лідерство у виробництві гарячекатаних широких смуг, залишатися основними постачальниками заготовки для листових станів холодної прокатки. ШСГП містять пічну групу, чорнову і чистову групи клітей і збиральну групу устаткування, що включає відвідний рольганг і моталки. Між чорнової і чистової групами клітей розташований проміжний рольганг, за яким підкат (розкат) передають з чорнової в чистову групу. У відомому опитувальному аркуші провідних японських металургів відзначено єдина думка фахівців про необхідність обов'язкової наявності проміжного

рольганга в технологічній лінії ШСГП. Необхідність в опитуванні з'явилася, в тому числі в зв'язку з тим, що наявність процесу передачі підкату по проміжному рольгангу призводить до суттєвого, до того ж нерівномірного по довжині охолодження підкату (до 100 °C і більше) до моменту входу ділянок підкату в першу кліть чистової групи.

У свою чергу зазначений перепад температури істотно ускладнює процес прокатки в чистовій групі клітей, призводить до перевантажень перших трьох-чотирьох клітей, до того ж, на виході з чистової групи потрібне постійне розподіл температури по довжині готової штаби, що обумовлено необхідністю отримання постійних фізико-механічних властивостей по довжині штаби.

Для напівнеперервних ШСГП фірма Steel Corporation Canada знайшла оригінальне рішення зазначеної технічної задачі у вигляді операції змотування підкату в рулон з подальшим його розмотуванням і подачею підкату з практично постійною температурою по довжині для прокатки в чистових клітях. Операцію змотування / розмотування підкату здійснюють в установці coilbox. Застосування coilbox дозволило до того ж істотно розширити можливості діючих напівнеперервних ШСГП по прокатці великовагових слябів (при цьому застосування coilbox найбільш ефективно для слябів з співвідношенням $G/B \geq 19$ т / (м. ширини), де G - маса сляба, B - ширина сляба). Однак операція змотування/розмотування підкату, здійснювана в установці coilbox, не може забезпечити високу продуктивність, властиву безперервним ШСГП

Для безперервних (3/4 безперервних, 2/3 безперервних) ШСГП, що мають продуктивність понад 4,0 млн. т/рік, зниження охолодження підкату в процесі передачі його з чорнової в чистову групу клітей і зниження при цьому нерівномірного по довжині підкату розподілу температури в момент входу в першу кліть чистової групи запропоновано здійснювати шляхом екранування верхньої і нижньої поверхонь підкату на проміжному рольганзі

аж до підігріву підкату в прохідній тунельної печі з відкидним верхнім звідом.

Об'єднаймо всі відомі способи зниження охолодження підкату на проміжному рольганге назвою теплозберігаючі установки (ТЗУ) і розділимо їх на три види теплоекранування: пасивне, активне і псевдоактивне.

Основу пасивного теплоекранування становить зниження охолодження верхньої поверхні підкату шляхом зменшення його теплообміну з навколишнім середовищем. Це запропоновано здійснювати або зниженням ступеня чорноти системи екрани - підкат (ТЗУ з касетами тепловідображуючих екранів, ТВЕ), або підвищенням температури екранів за рахунок акумулювання тепла касетами при проходженні перших підкатів (ТЗУ з касетами теплоаккумулюючих екранів, ТАЕ). У ТСУ з касетами ТАЕ зі зменшенням товщини екранів помітно підвищується ефективність екранування підкатів при початковій стадії прокатки (з вихідного «холодного» стану екранів), проте зниження товщини екранів істотно зменшує тривалість їх роботи.

Основу ТЗУ активного теплоекранування (АТЕ) становить проходження підкату в процесі його руху від чорнової до чистової групі клітей через тунельну піч, в якій до верхньої поверхні підкату підводиться тепло.

Основу ТЗУ з касетами псевдоактивних екранів (ПАТАЕ) становить проходження підкату під теплоаккумулюючими екранами (ТАЕ), робочу поверхню яких (звернену до підкату) активно нагрівають до температури, що дорівнює температурі верхньої поверхні підкату.

Всі відомі ТЗУ для зниження втрат тепла верхньою поверхнею підкату забезпечені набором секцій, встановлених уздовж рольганга приводом переміщення секцій (від гідроциліндрів) до/від рольганга.

Довжину секцій частіше приймають кратною кроку роликів рольганга, при цьому зі збільшенням довжини секцій зменшується величина їх «підскакування» при ударах по ним переднього кінця що рухається по

рольгангу підкату, яке небезпечно для торця секції, наступної по ходу зазначеного руху підкату. Однак зі збільшенням довжини секції з'являються складності з оперативним їх відведенням від рольганга. Крім того, з ростом довжини секцій з'являється необхідність призначення в конструкції підвищених зазорів для компенсації теплових подовжень. Для кроку роликів рольганга 1200 мм краща довжина секцій 2400 і 3600 мм. Небажана, але допускається експлуатація ТЗУ, забезпеченою секціями різної довжини.

Ширина секцій визначена довжиною бочки роликів рольганга, яку вона перевищує на 100 ... 200 мм.

На секції з можливістю оперативної заміни кріплять касети з екранами, що забезпечують реалізацію зазначених способів теплоекранування верхньої поверхні підкату. Висоту розташування робочої поверхні екранів (звернену до підкату) щодо підкату в основному приймають рівною 250 мм.

Касети, як уже зазначалося, можуть бути з ТВЕ, ТАЕ і ПАТАЕ. У ТСУ з АТЕ касета є секцією (про що див. Нижче).

ТЗУ з касетами ТОЕ. Безінерційність ТЗУ з касетами ТВЕ і низька їх вартість є важливими перевагами цього способу екранування підкату.

МИСиС в 1974-1975 рр. вперше в світовій практиці здійснив тепловідображувальне екранування підкатів на проміжному рольганзі ШСПП 1700. Секції ТЗУ виготовили з плакованих алюмінієм дюралюмінію, що не відповідало умовам експлуатації обладнання в чорній металургії. У той же час був відзначений позитивний ефект екранування.

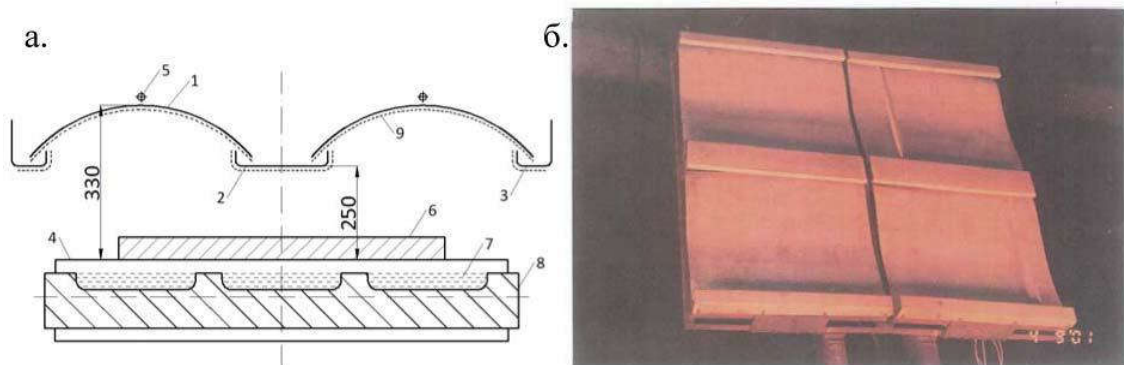


Рис. 1.6. Поперечний розріз (а; схема) і фотографія (б) секції ТСУ з тепловідображувачами на проміжному рольганзі.

У 2000 р була створена секція ТЗУ з 4-ма касетами ТВЕ, поперечний розріз і фотографія якої наведено на Рис. 1.6. Тепловідбивачі 1 були виготовлені з 2 мм листа маловуглецевої сталі, покритого Al (Рис. 1.6). По центру секції йшов підпружинений відбійник 2, покритий Al. Бічні стінки 3 секції також були захищені Al. Товщина покриття Al становила близько 0,25 мм, початкова ступінь його чорноти перебувала на рівні 0,2. Відстань між рівнем роликів 4 і відбійником 2 становило 250 мм. Передбачена можливість охолодження тепловідбивача 1 сухим повітрям 5. Цим повітрям виключалося також осадження пилу на верхню і нижню поверхні відбивачів 1. Наведена на фотографії (Рис. 1.6, б) секція була встановлена на початку ТЗУ з касетами ТАЕ (ролики 19 - 21 після кліті R5) на несучих конструкціях цього ТЗУ. Протягом 4-х місяців здійснювали вимірювання параметрів роботи секції. Встановлено, що при безперервному циклі роботи стану має місце розігрів відбивачів 1 до 400 °С; подача повітря 5 знижує цей рівень до 180 °С. При цьому відбійник 2 нагрівався до 350 °С без подачі повітря і до 300 °С при подачі повітря. Бічні стінки 3 при подачі повітря і без нього нагрівалися до 250 °С.

За ефективністю збереження тепла підкатом ТЗУ з касетами ТВЕ практично не поступаються ТЗУ з касетами ТАЕ, в той же час вимагають значно менших капітальних витрат. Однак в експлуатації ТЗУ з касетами ТВЕ вимагають додаткових експлуатаційних витрат на заміну тепловідбивача приблизно через 6 місяців їх роботи і відновлення ступеня чорноти поверхонь відпрацьованих екранів, яке здійснюють дробеструйною обробкою.

Безінерційність роботи ТЗУ з касетами ТВЕ і можливість їх установки на несучих конструкціях ТЗУ з касетами ТАЕ дозволяють рекомендувати застосування ТЗУ з касетами ТВЕ на ділянці проміжного рольганга зі зниженим часом теплового контакту підкату з екранами.

2. Формування товщини по довжині штаби

2.1 Теоретичні методи розрахунку подовжньої різнотовщинності

Поздовжня різнотовщинність штаби в тій чи іншій мірі має місце на всіх станах гарячої і холодної прокатки [2]. Менша на станах сучасної конструкції і велика на станах старої конструкції. На рис. 2.1 показана характерна профілограмма зміни товщини смуги 2x1100 мм, прокатої на широкосмуговому стані гарячої прокатки (ШСГП) 1680 при відсутності достатньої кількості каналів регулювання міжвалкового зазору.



Рис. 2.1. Профілограмма зміни товщини по довжині смуги (ст.08пс) при прокатці без Койлбокс. Дані меткомбінату "Запоріжсталь" (одинарний рулон).

Як впливає з рис. 2.1, величина відхилень товщини штаби на основній довжині ($\sim 85\%$), в тому числі і на передньому кінці становить $= 0,02 - 0,07$ мм. (Ділянка 2-3). Підвищення товщини смуги до задньої кінцевої ділянки, при наявності заднього натяження, обумовлено зниженням температури (температурним градієнтом). Потовщення заднього кінця штаби щодо мінімальної товщини на передньому кінці становить $\Delta h_{\text{п}} = 0,2$ мм, незважаючи на додаткове обтиснення заднього кінцевої ділянки в клітях № 6 - 9. Для усунення збільшення товщини на ділянці 2 - 3 потрібно безперервне зменшення міжвалкового зазору. На ділянці 3 - 4, де відбувається додаткове збільшення товщини внаслідок відсутності натягу

заднього кінця в усіх клітках чистової групи, необхідно застосування локального впливу на процес прокатки для відповідного зменшення міжвалкового зазору.

Беручи до уваги, що закономірності формування товщини по довжині смуги досить повно розглянуті в роботах: Ю.В. Коновалова, І.М. Меєровича зі співавторами, Ю.Д. Желєзнова зі співавторами, В.П. Полухина [4-7 та ін.], В даній роботі розглянуті лише можливі технологічні рішення зменшення (усунення) кінцевих потовщень смуги, які утворюються в результаті відсутності заднього натягу смуги, при проходженні безперервної чистової групи сталі.

За останні 20 - 30 років в технологічних процесах традиційних ШСГП зі слябовою прокаткою відбулися істотні зміни, які внесли певні корективи у формування товщини смуги (наприклад, застосування прямої прокатки слябів минаючи нагрівальні печі, застосування прискорення валків чистової групи, застосування Койлбокс тощо) . Наприклад, застосування на ШСГП Койлбокс помітно зменшує потовщення заднього кінця і практично усуває потовщення переднього кінця смуги.

Нижче коротко розглянуті теоретичні положення формування товщини по довжині смуги.

2.1.1. Рівняння повздовжньої різнотовщинності штаби

Повздовжня різнотовщинність штаб обумовлена зміною міжвалкового зазору внаслідок дії змінної сили прокатки, модуля жорсткості кліті і смуги. При постійному значенні модуля жорсткості смуги ($M_{II} = \text{const}$) товщина смуги визначається виразом (рівняння Сімса - Головіна):

$$h_i = S_0 + \frac{P_i}{M_{KL}}; \quad \delta h_{II} = \Delta P_i / M_{KL}, \quad (2.1),$$

Де S_0 - зазор між валками при відсутності смуги; P – сила прокатки; ΔP_i - різниця між великими і мінімальними силами; δh_{Π} - приріст товщини смуги; $M_{кл}$ - модуль жорсткості кліті.

Установчий зазор S_0 - визначається силою прокатки і товщиною смуги, яку необхідно отримати в даній кліті (проході). Зазор може дорівнювати $S_0 > 0$. При експериментальному визначенні сили прокатки по довжині смуги ($\dot{I}_{\dot{I}} = \text{const}$) товщина смуги в будь-якій точці ділини штаби також розраховується за виразом (2.1). У разі нерівномірності модуля жорсткості смуги $\dot{I}_{\dot{I}}$ по довжині смуги визначення товщини смуги теоретичним шляхом, можливо при використанні виразу [2-6]:

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

де $M_{\Pi i}$ - змінний по довжині модуль жорсткості смуги.

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

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

де $h_{\min}$ - мінімальна товщина цієї лінії.

Вирішення цього завдання виконується з використанням наступного диференціального виразу:

$$\begin{aligned} \delta h_{\Pi} = & \frac{1}{M_{кл} + M_{\Pi}} (M_{кл} \cdot dS + \frac{\partial P}{\partial H} \cdot dH + \frac{\partial P}{\partial R} \cdot dR + \frac{\partial P}{\partial \sigma_T} \cdot d\sigma_T + \frac{\partial P}{\partial f} \cdot df + \\ & + \frac{\partial P}{\partial \sigma_0} \cdot d\sigma_0 + \frac{\partial P}{\partial \sigma_1} \cdot d\sigma_1 + \frac{\partial P}{\partial u} \cdot du + \frac{\partial P}{\partial t} \cdot dt) \end{aligned} \quad (2.4)$$

де H - вихідна товщина смуги; R - радіус робочого валка; B - ширина штаби до прокатки; σ_T - середня напруга течії металу; f - коефіцієнт зовнішнього тертя; σ_0 та σ_1 - напруга натягіння відповідно задня і передня; u - швидкість деформації металу; t - температура смуги.

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

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

де ΔP - різниця між поточним значенням P_i і мінімальним $P_{\min}$; $I_{\pi i}$ - модуль жорсткості штаби на i -их ділянках.

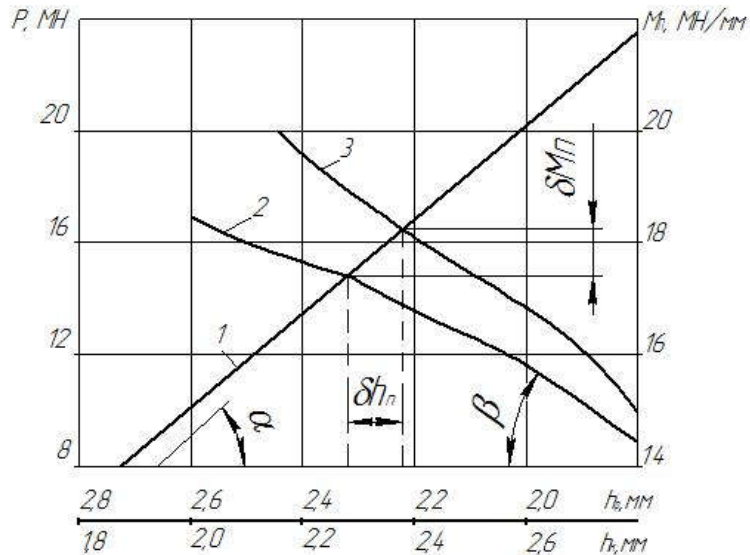


Рис. 2.2. Графічне рішення пошуку фактичної товщини штаби по розрахунковим величинам P і M_{π} . 1 - зміна сили прокатки; 2 - зміна модуля жорсткості штаби; 3 - зміна модуля жорсткості смуги при збільшенні, наприклад: коефіцієнта тертя. ($D_p = 500$ мм, $B = 1250$ мм, $H = 3$ мм, $u = 2$ м/с; $\sigma_0 = 20$ Н/мм², $\sigma_f = 150$ Н/мм²; $M_{\text{кл}} = 4.3$ МН/мм)

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

Модуль жорсткості кліті визначають з виразу:

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

Модуль жорсткості кліті залежить від параметрів кліті і ширини штаби для клітей безперервних станів гарячої прокатки рівні:

стан 1700 – КарМК – $3,6 \dots 3,9 M_{\text{кл}}, \text{МН} / \text{мм}$;

стан 2000 – НЛМК – $5,5 \dots 6,0 M_{\text{кл}}, \text{МН} / \text{мм}$;

стан 1680 – ЗМК – $3,06 \dots 3,62 M_{\text{кл}}, \text{МН} / \text{мм}$.

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

Великі значення $\dot{I}_{\hat{E}\hat{E}}$ відповідають максимальній ширині смуги для даного стану. Чим більше величина модуля жорсткості кліті, тим менше вертикальна пружня деформація кліті і зміна міжвалкового зазору.

При наявності експериментальних даних по силі прокатки визначається дійсна кінцева товщина смуги:

$$h = S_0 + P / M_{кл}$$

В цьому випадку повздовжню різнотовщинність смуги в перетині визначають за виразом (рис. 2.1)

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

де D - максимальна сила прокатки; D_M - мінімальна сила прокатки.

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

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

де φ_1 - коефіцієнт, що враховує кривизну пластичної кривої (рис. 2.2, криві 2, 3).

Коефіцієнт φ_1 можна визначити по графічним залежностям роботи [2], які після апроксимування представлені залежністю:

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

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

Для теоретичного розрахунку дійсної товщини смуги і повздовжньою різнотовщинності смуги відомо кілька методів.

2.1.2. Графоаналітична модель розрахунку товщини штаби

В роботі І.М. Меєровича і ін. [2] для розрахунку приросту товщини від впливу різних чинників при гарячій і холодній прокатці штаби пропонується використовувати диференціальне рівняння прокатки (2.4). Чисельне рішення диференціального рівняння (2.4) вимагає визначення похідних його складових при попередньому прийнятті вираження для розрахунку середнього нормального контактного напруження (сили прокатки). В роботі [2] для вирішення використовували, для гарячої прокатки, формулу М.Я. Бровмана, яка не враховує впливу коефіцієнта тертя, що вносить помилки в розрахунок. Для оцінки впливу зміни вихідної товщини смуги на приріст кінцевої товщини автори [2] отримали такий вираз:

$$\frac{\partial P}{\partial H} = \frac{P_0}{\Delta h} \cdot \varphi_0 + \frac{P}{k_\varepsilon} \cdot \frac{h}{H^2} \cdot \frac{\Delta k_\varepsilon}{\Delta \varepsilon} - \frac{T_0}{H} \cdot \varphi_3 - \frac{T_0}{H} \cdot \varphi_4 - \frac{T_0}{H} \cdot \varphi_5,$$

де D_0 - сила прокатки без урахування натягу; P - сила прокатки з урахуванням натягу; H і h - товщина смуги до і після прокатки (задані); ε - відносне обтиснення; k_ε - коефіцієнт, що враховує вплив обтиску на напруження течії металу; T_0 і T_1 - сили натягу штаби відповідно задня і передня; $\varphi_0 - \varphi_5$ - передавальні коефіцієнти.

Неточність наведеного виразу обумовлена тим, що при розрахунку сил D_0 та P при температурі металу $t = const$, параметр $\frac{\partial D}{\partial I}$ не залежить від зміни напруження течії металу в зв'язку зі зміною товщини H_i , h_i та Δh_i і отже, температури металу. Автори [2] для практичних цілей рекомендують розраховувати приріст товщини штаби при прокатці графо-аналітичним методом.

Суть методу полягає в побудові залежностей $P = \Phi(h)$ і $M\pi = \Phi(h)$ при заданих умовах деформації металу для різних товщин штаби ($H = const$, $v = const$) (рис. 2.2). Дійсна товщина штаби для прийнятих умов деформації в

даній кліті встановлюється перетином кривих 1 і 2 (рис. 2.2, точка А). На рис. 2.2 сила прокатки змінюється в залежності від товщини h_p , а модуль жорсткості штаби - в залежності від товщини h_M . Мінімальне значення модуля жорсткості смуги має місце при максимальній її товщині (при $P = 0$).

При зміні кута α кривої 1 (рис. 2.2) або зміні рівня кривої 1 при $M_p = \text{const}$ товщину лінії визначають за шкалою h_p . Отримання об'єктивних результатів δh_f розрахунку можливо при використанні достовірних моделей для визначення сили прокатки

$$P = p_{cp} \cdot l_c \cdot B \quad (2.10)$$

де δ_{ND} - середнє нормальне контактне напруження; l_c - довжина дуги контакту з урахуванням пружних деформацій валків і смуги (пружна деформація кліті враховується в трьох-чотирьох клітках стану гарячої прокатки); B - ширина смуги.

В.А. Ніколаєвим [6, 7, 9, 11-12] розроблені системні моделі для розрахунку коефіцієнта (показника) тертя, напруги течії металу, довжини дуги контакту і середнього нормального напруження при гарячій і холодній прокатці. Моделі апробовані в лабораторіях і промислових умовах тож дозволяють з високою точністю розраховувати силу прокатки.

2.1.3. Збільшення товщини полоси виходячи з чисельного рішення диференційного рівняння

Для теоретичного рішення рівняння (2.4) необхідно мати залежності:

$$P = \Phi(H, h, \sigma_T, \sigma_0, \sigma_1, t, f) \quad (2.11)$$

де σ_T - напруження течії металу.

Для вирішення функції (2.12) Ю.В. Коновалов [1] застосовував формулу А.І. Целікова для розрахунку середнього нормального контактного напруження; силу прокатки розраховуємо за формулою (2.11), а потім отримали вираження приватних похідних всіх параметрів. Для виявлення

ступеня впливу коливань, наприклад, вхідний товщини брали зміну інших параметрів рівними нулю:

$$\Delta P_H = \frac{M_{KL}}{M_{KL} - \frac{\partial P}{\partial H}} \cdot \frac{\partial P}{\partial h} \cdot \Delta H; \quad \delta h_{II} = \frac{1}{M_{KL} - \frac{\partial P}{\partial H}} \cdot \frac{\partial P}{\partial H} \cdot \Delta H, \quad (2.12)$$

де ΔH - зміна вхідної товщини по довжині смуги.

Аналогічно визначали приріст товщини внаслідок впливу інших параметрів. На підставі розрахунків отримали лінійні залежності $\delta h_{II} = \Phi(\Delta H, t, \sigma_0, \sigma_1 \text{ та ін.})$, Які дозволяють встановити приріст товщини смуги в кожній кліті (рис. 2.3) [4].

Дані на рис. 2.3 можуть бути використані для визначення величин корекції міжвалкових зазорів в системі автоматичного регулювання товщини смуги. Так, з рис. 2.2 а, виходить, що для зменшення коливань товщини смуги кліті №10 необхідно отримувати в кожній попередній кліті штаби з мінімальними коливаннями товщини по її довжині. Градієнт температур Δt по довжині смуги чинить максимальний вплив на δh_i в кліті №5 і мінімальне в кліті №10. Істотний вплив на величину δh_i надає зміна заднього натягу $\Delta \sigma_0$ і менше - зміна переднього натягу $\Delta \sigma_1$.

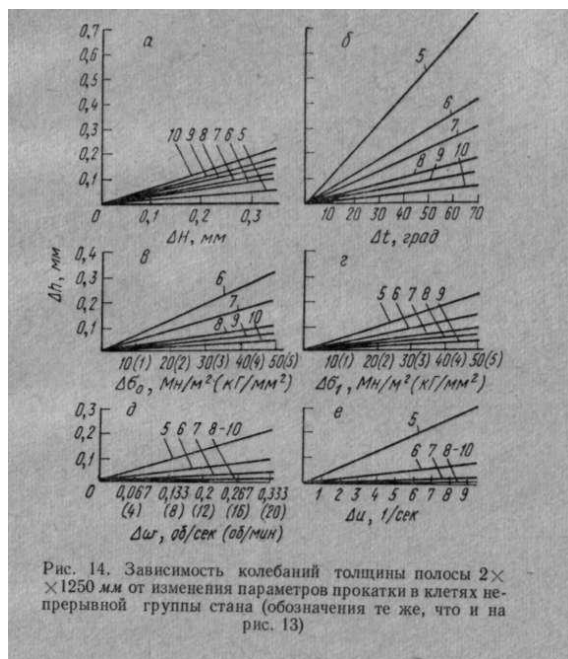


Рис. 2.3. Залежність коливань товщини смуги 2 x 1250 мм від зміни параметрів прокатки в чистових клітках ШСГП 1700. Зміна: а - вхідний товщини; б - температури; в - заднього

натягу; г - переднього натягу; д - числа оборотів валів; е - швидкості деформації смуги.
Цифри у прямих - номери клітей.

2.2. Вплив технологічних чинників на формування поздовжньої різнотовщинності

Стабільність товщини по довжині гарячекатаних штаб обумовлена типом стану і складом застосовуваного обладнання [1]. При цьому на багатьох станах гарячої прокатки штаб рівень технологічного процесу забезпечує можливість прокатки штаби товщиною менше 2,0 мм з необхідними точністю і механічними властивостями. У більшості випадків це відноситься до виробництва широких тонких смуг на ливарно-прокатних модулях (ЛПМ), в яких наявність підігрівальних печей перед чистовою групою прокатних клітей дозволяє не тільки збільшити температуру, але і зменшити практично до нуля градієнт температур по довжині тонких слябів і мінімальну поздовжню різнотовщинність на 97,5-98 % довжини готових штаб.

На ШСГП які працюють за традиційною технологією прокатки смуг з товстих слябів ($H > 150$ мм) зменшення поздовжньої різнотовщинності готових штаб, зокрема, потовщення заднього кінця, забезпечує застосування проміжних перемотувань пристроїв (ППУ-Coilbox) на ділянці проміжного рольганга між чорною і чистовою групами клітей. Застосування ППУ зменшує градієнт температур розкату по довжині при вході в першу кліть чистової групи до Δt - 10-30 °C, чому відповідає сумарне потовщення заднього кінця готової смуги на $dh_n \sim 0,07-0,12$ мм. При штучній прокатці смуг на ЛПМ і ШСГП передній і задній кінці прокочують без натягу, що є причиною появи потовщення, особливо на задньому кінцевій ділянці довжиною до 30-45 м [4, 5]. Зварювання встик кількох (6-15 шт.) проміжних розкатів перед чистовою групою, як це виконують на трьох ШСГП Японії, створює умови для нескінченної прокатки подовженої штаби, де відсутній

вплив заднього натягу тільки на останньому гуркоті. Однак вплив на товщину смуги температурного градієнта по довжині кожного розкату в «нескінченної» штаби залишається. Дієвим технічним рішенням для компенсації впливу температурного клину на товщину смуги по її довжині є прискорення валків в період прокатки. Але відсутність в цьому процесі впливу заднього натягу штаби призводить до істотного приросту товщини на цій ділянці.

У зв'язку із зазначеним вище, представляє науковий і практичний інтерес оцінити вплив на формування поздовжньої різнотовщинності штаби деяких факторів, варіювання якими можливо в існуючому процесі ШСГП. До таких факторів, зокрема, можна віднести температуру і товщину сляба перед чорновий групою, швидкість прокатки в останній клітці чорнової групи і величину переднього натягу в початкових клітках чистової групи.

Розрахунки виконані стосовно ШСГП 1680, характеристика якого дана в роботі [6]. У чорновій групі, що складається з чотирьох клітей кварто, виконують напівбезперервний процес прокатки: ОК - кліть № 1, кліті № 2, 3; кліті № 3, 4. Розкат в кліть № 2 надходить після виходу з кліті № 1. З кліті № 4 розкат виходить на проміжний рольганг зі швидкістю $v_4 = 2,2$ м/с. У чистовій групі є шість клітей з максимальним діаметром робочих валків $D = 620$ мм, швидкість валків в чистовій клітці № 10 $v_{10} \sim 9,2$ м/с. При прокатці штаби $h = 2,5 \times 1250$ мм з розкату товщиною $h_n = 28$ мм швидкість заднього кінця на вході в першу кліть чистової групи (кліть № 6) становить $v_{5AO} \approx 1,03$ м/с.

Розрахунки виконані при температурах сляба, °C: 1165 (базова), 1180 и 1200; товщині сляба H_{NE} , мм: 165 (базова) і 180. В останній клітці чорнової групи (кліть 4) виконували наступний швидкісний режим:

- прокатка розкату (довжина $L \sim 54$ м) при постійній швидкості рівній $v_4 = 2,2$ м/с (базова);

- прокатка передньої ділянки проміжного розкату виконується при швидкості $v_4 = 2,2$ м/с, а задню ділянку розкату після виходу з кліті № 3 довжиною ~ 25 м при швидкості $v_{43} = 1,0, 1,5$ і $2,2$ м/с.

У чистовій групі при прокатці останніх трьох метрів гуркоту в кліті № 5 застосовували переднє натяг $\sigma_{\dot{\gamma}} = 15; 40$ і 60 Н/мм². Перед виходом заднього кінця штаби з кліті № 6 також застосовували переднє натяг $\sigma_{\dot{\gamma}} = 15; 40$ і 60 Н/мм². Аналогічно прокатували задній кінець смуги і в кліті № 7. Базовий режим прокатки виконують при передньому (задньому) натязі $\sigma_{\dot{\gamma}} = 15$ Н/мм².

Розрахунок температури розкату (штаби), сили прокатки і збільшення товщини розкату (штаби) у всіх клітях виконували за моделями, запропонованими в роботах [9,11-12]. Результати розрахунків частково представлені на рис. 2.4-2.6 і в таблиці.

На рис. 2.4 представлені основні параметри при базових умовах прокатки ($v_4 = 2,2$ м/с). У чорновій групі клітей температура розкату зменшується з $t_{CL} = 1165$ до 1083 °C (передній кінець), тобто на 82 °C. При підході до кліті № 5 чистової групи температура переднього кінця знижується до $t = 992$ °C (рис. 2,4 а), а градієнт температур з $\Delta t_{51} = 10$ °C після кліті № 4 збільшується до $\Delta t_{5\tilde{A}} \sim 74$ °C (рис. 2.4, в). При цьому, градієнт температур по довжині проміжного гуркоту збільшується до $\Delta t_{5\tilde{A}} = 78$ °C при $t_{CL} = 1180$ °C і до $[\Delta t_{5\tilde{A}} = 82$ °C при $t_{CL} = 1200$ °C (t_{CL} - температура сляба перед першою кліттю чорнової групи). Збільшується також температура в кліті № 10 з $t = 903$ °C ($t_{CL} = 1165$ °C) до $t_{13} = 913$ °C при $t_{CL} = 1200$ °C.

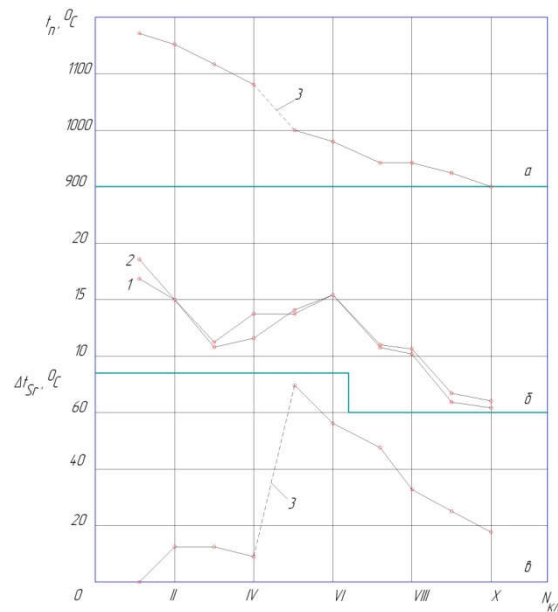


Рис. 2.4. Зміна температури переднього кінця штаби (а) в клітях ШСГП, сили прокатки на передньому кінці смуги (б) в клітях та градієнт температур по довжині штаби (в) перед клітями №№1-10 ($H_{\tilde{N}\tilde{E}} = 165$ мм). Товщина сляба $H_{\tilde{N}\tilde{E}}$, мм: 1 - 165; 2 - 180. Базовий режим прокатки ($v_4 = 2,2$ м/с) (3 - гуркіт на проміжному рольганзі).

Збільшення товщини сляба до $H_{\tilde{N}\tilde{E}} = 180$ мм ($t_{cl} = 1165$ °C) збільшує градієнт температур по довжині проміжного розкату перед кліттю № 5 і температуру штаби (передній кінець) в кліті № 10, як при прокатці слябів товщиною $H_{\tilde{N}\tilde{E}} = 165$ мм і при температурі $t_{cl} = 1200$ °C. Підвищення товщини сляба до $H_{\tilde{N}\tilde{E}} = 180$ мм ($t_{cl} = 1165$ °C) викликає збільшення сили прокатки в чорновій групі клітей на 8-13% ($h_{np} = 28$ мм) і зменшує силу прокатки в чистовій групі клітей на 1,5-2% (рис. 2.4, б).

Таблиця.2.1 Параметри гарячої прокатки смуги 2,5x1250 мм зі сталі 08кп. Товщина сляба $H_m = 165$ мм, обтиснення в окалиноломачі 20 мм

Параметри прокатки	Номера клітей*									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Базовый вариант при $t_{\text{СЛ}} = 1165^\circ\text{C}$, $v_4 = 2,2 \text{ м/с}$, $\sigma_{\text{п}} = 15 \text{ Н/мм}^2$										
h_i , мм	95	62	41	28	16,0	9,0	6,0	4,0	3,1	2,5
t_i , $^\circ\text{C}$	1163/ 1157	1143/ 1130	1115/ 1103	1083/ 1073	992/ 932	984/ 938	967/ 932	952/ 926	928/ 908	903/ 889
t_{i+1} , $^\circ\text{C}$	1146/ 1133	1118/ 1106	1084/ 1074	992/ 918	979/ 923	971/ 928	955/ 922	941/ 916	917/ 899	-
P_i , М Н	16,29/ 16,50	14,85/ 15,56	10,55/ 10,93	11,31/ 11,69	14,98/ 26,11	15,5/ 20,18	10,87/ 13,76	10,67/ 12,49	6,65/ 7,89	6,21/ 7,0
δh_n , мм	0,06	0,199	0,12	0,109	2,395	1,123	0,609	0,391	0,271	0,213
Дослідний варіант при $t_m = 1165^\circ\text{C}$, $v_{\text{in}} = 2,2 \text{ м/с}$, $v^{\wedge} = 1,0 \text{ м/с}$, $\sigma_{\text{п}} = 60 \text{ Н/мм}^2$										
h_i , мм	95	62	41	28	16,0	9,0	6,0	4,0	3,1	2,5
t_i , $^\circ\text{C}$	1163/ 1157	1143/ 1130	1115/ 1103	1083/ 1031	937/ 903	937/ 912	926/ 907	917/ 901	896/ 883	875/ 865
t_{i+1} , $^\circ\text{C}$	1116/ 1133	1118/ 1106	1084/ 1038	931/ 886	926/ 894	926/ 903	915/ 897	907/ 892	887/ 875	-
P_i , М Н	16,29/ 16,50	14,85/ 15,56	10,55/ 10,93	11,31/ 15,87	17,75/ 27,8	18,16/ 20,11	12,42/ 13,19	11,92/ 12,76	7,37/ 7,97	6,78/ 7,16
δh_n , мм	0,06	0,199	0,12	1,205	2,302	0,488	0,076	0,107	0,096	0,094

На рис. 2.5 і в таблиці представлені дані щодо впливу гальмування задньої ділянки розкату в кліті № 4 при випуску переднього ділянки у всіх випадках зі швидкістю $v_{4n} = 2,2 \text{ м/с}$. Ступінь зміни швидкості розкату виражена через відношення v_{43} / v_{4n} (v_{43} - швидкість заднього кінця штаби).

Як видно на рис.2.5 а, зі зменшенням відносної швидкості v_{43} / v_{4n} температура заднього кінця розкату після четвертої кліті (1) і перед кліттю № 5 (2) помітно зменшується при будь-якій температурі сляба. Однак градієнт температур по довжині проміжного гуркату перед кліттю № 5 (рис. 2.5, б) зі зменшенням відносної швидкості заднього кінця розкату істотно зменшується.

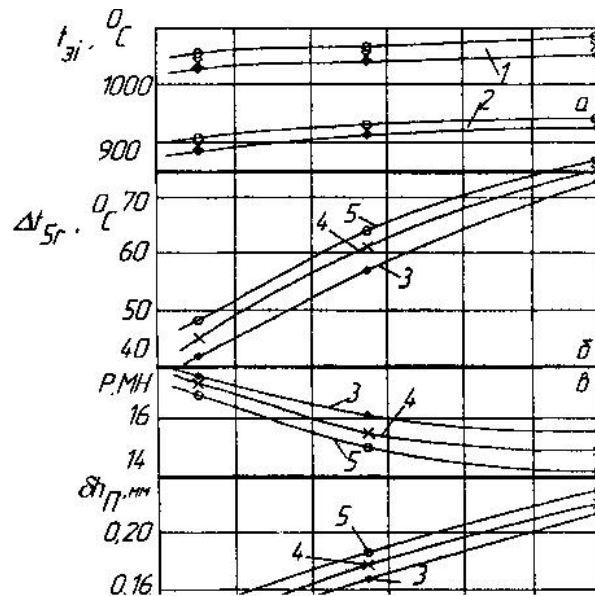


Рис.2.5. Зміна параметрів прокатки в залежності від виразу v_{43}/v_{4n} . Температури заднього розкату (а), градієнта температур по довжині розкату перед кліттю № 5, сили прокатки переднього кінця смуги в кліттю № 5 (б); потовщення заднього кінця смуги після кліттю № 10 (в). Температура заднього кінця розкату після кліттю № 4 (1) і заднього кінця розкату перед кліттю № 5 (2). Температура сляба, °C: 3-1165; 4 -1180; 5 -1200

При $t_{cl} = 1165$ °C і $H_{\tilde{N}\tilde{E}} = 165$ мм в порівнянні з базовим варіантом ($v_{43}/v_{4n} = 1,0$) при $v_{43}/v_{4n} = 0,455$ градієнт температур по довжині розкату знизився з $\Delta t_{5\tilde{A}} = 74$ °C до $\Delta t_{5\tilde{A}} = 43$ °C, тобто в 1,72 рази. Зменшення градієнта температур в цих умовах прокатки обумовлено збільшенням часу транспортування переднього кінця розкату до кліттю № 5. Аналогічна картина зміни $\Delta t_{5\tilde{A}} = \Phi(v_{43}/v_{4n})$ спостерігається і при $t_{cl} > 1165$ °C. Однак при $v_{43}/v_{4n} < 1,0$ абсолютна температура переднього кінця розкату знижується. Так, для кривої 2 (рис. 2.5, а) маємо при $v_{43}/v_{4n} = 1,0$, $t_{3k} = 918$ °C, а при $v_{43}/v_{4n} = 0,455$, $t_{3k} = 888$ °C (перед кліттю № 5) (різниця 30 °C). У кліттю № 10 різниця температур знижується до 12 °C (температури смуги відповідно рівні 889 і 877 °C).

Збільшення температури сляба збільшує градієнт температур (рис. 2.5, в), але одночасно знижує силу прокатки (рис. 2.5, в) внаслідок зменшення

напруги течії металу і нормальних контактних напружень в осередку деформації.

Використання слябів з температурою $t_{cl} = 1200$ °C дозволяє зменшити енергосилові параметри прокатки на 4-6 %. Однак збільшення температури сляба викликає одночасне підвищення поздовжньої різнотовщинності δh_n штаби після кліті № 10 не залежно від величини параметра v_{43} / v_{4n} (рис. 2.5, г). При цьому зі зменшенням відносної швидкості заднього кінця розкату до $v_{43} / v_{4n} = 0,455$ ($v_{43} = 1,0$ м/с) потовщення заднього кінця δh_n істотно зменшується внаслідок зменшення градієнта температур розкату перед кліттю № 5 (рис. 2.5, б). Так, при $H_{\tilde{N}\tilde{E}} = 165$ мм потовщення заднього кінця в кліті № 10 знижується з $\delta h_i = 0,213$ мм ($v_{43} / v_{4n} = 1,0$) до $\delta h_i = 0,136$ мм ($v_{43} / v_{4n} = 0,455$).

На рис. 2.6 видно, що зі зменшенням градієнта температур $\Delta t_{5\tilde{A}}$ відбувається лінійне зниження потовщення δh_i заднього кінця штаби в кліті № 10, що відповідає отриманим раніше даним [4]. Збільшення товщини сляба мало впливає на потовщення заднього кінця при $\Delta t_{5\tilde{A}} = \text{const}$. Однак якщо при прокатці розкату з $v_{43} / v_{4n} = 1,0$ градієнт температур по довжині смуги в кліті № 10 позитивний - $\Delta t_{10\tilde{A}} = 18$ °C ($H_{\tilde{N}\tilde{E}} = 165$ мм, $t_{cl} = 1165$ °C), то при $v_{43} / v_{4n} = 0,455$ градієнт температур смуги в кліті № 10 негативний $\Delta t_{10\tilde{A}} = -2$ °C. Подібна тенденція зміни $\Delta t_{10\tilde{A}}$ зберігається і при збільшенні температури і товщини сляба. Але збільшення товщини сляба до $H = 180$ мм сприяє деякому зниженню градієнта температур (до $\Delta t_{10\tilde{A}} = -3$ °C). Тобто, температура заднього кінця штаби трохи більше, ніж переднього, що сприятливо позначається на товщині заднього кінця смуги. Наявність градієнта температур проміжного розкату $\Delta t_{5\tilde{A}}$ проявляється в зміні сили прокатки не тільки в кліті № 5, але і в кліті № 10.

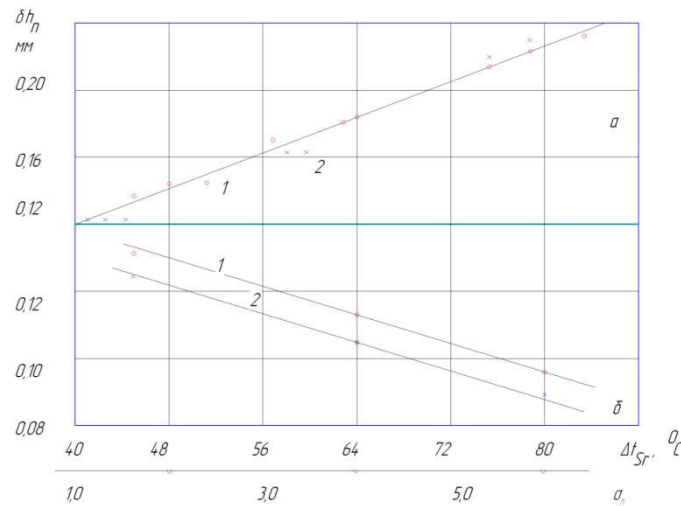


Рис. 2.6. Зміна поздовжньої різнотовщинності в залежності від $D_{t5\Gamma}$ (а) і поздовжнього різнотовщинності δh_η (б) в кліті № 10 в залежності від величини переднього натягу σ_Π (товщина сляба $H_{\tilde{N}\tilde{E}}$, мм). 1 - 165; 2 - 180 ($v_{43}/v_{4n} = 0,455$, $t_{\text{сл}} > 1165$ $^\circ\text{C}$). Шкала $D_{t5\Gamma}$ - для «а», шкала σ_Π - для «б».

При прокатці заднього кінця проміжного гуркоту при відносній швидкості $v_{43}/v_{4n} = 0,455$ ($v_{43} = 1,0$ м/с) істотно впливає величина переднього натягу ділянки заднього кінця перед виходом його відповідно з клітей №№ 5-7 (рис. 2.6, б). Збільшення переднього натягу заднього кінця з $\sigma_\Pi = 15$ до 60 N/mm^2 дозволяє зменшити приріст товщини заднього кінця готової смуги з $\delta h_i = 0,303$ до $\delta h_i = 0,094$ мм (на 31%) при прокатці смуги з сляба $H_{\tilde{N}\tilde{E}} = 165$ мм, і з $\delta h_i = 0,127$ до $\delta h_i = 0,087$ мм (на -31,5%) для сляба $H_{\tilde{N}\tilde{E}} = 180$ мм. Підвищення переднього натягу заднього кінця смуги в клітях №№ 5-7 забезпечує також зниження сили прокатки на 4-7 % у всіх клітях стану. При прокатці по базовій технології ($H_{\tilde{N}\tilde{E}} = 165$ мм і $v_4 = \text{const} = 2,2$ м/с) збільшення переднього натягу знижує потовщення заднього кінця всього на $\sim 13\%$.

Аналіз впливу технологічних факторів на формування товщини по довжині смуги показав наступне:

- збільшення температури сляба з $t = 1165$ до 1200 °C зменшує силу прокатки на 4-6% за всіма клітям безперервного стану (ШСП), але трохи збільшує приріст товщини заднього кінця готової смуги;

- зменшення швидкості прокатки заднього кінцевої ділянки в останній кліті чорнової групи обумовлює, при деякому зниженні температури, зменшення градієнта температур по довжині проміжного розкату. При співвідношенні $v_{43} / v_{4n} = 0,455$ ($v_{4n} = 2,2$ м/с, $v_{43} = 1,0$ м/с) спостерігається зменшення градієнта температур з $\Delta t_{5\tilde{A}}$ з 74 до 43 °C ($H_{\tilde{N}\tilde{E}} = 165$ мм, $t_{\text{СЛ}} = 1165$ °C), тобто в -1,72 рази. Однак це викликає збільшення сили прокатки, проти базових значень, в кліті № 4 на 40% (до 15,87 МП) і в кліті № 5 на 19% на передньому кінці і на 6,5% на задньому кінці смуги, тобто . короткочасне навантаження збільшується з 26,11 до 27,8 МН. Зниження градієнта температур по довжині проміжного розкату забезпечує зменшення приросту заднього кінця смуги з $\delta h_4 = 0,213$ мм до $\delta h_i = 0,136$ мм, тобто в 1,57 рази;

- збільшення переднього натягу задньої ділянки штаби перед виходом його послідовно з клітей №№ 5-7 (при $H_{\tilde{N}\tilde{E}} = 165$ мм, $t_{\text{СЛ}} = 1165$ °C і $v_{43} / v_{4n} = 0,455$) дозволяє зменшити приріст товщини заднього кінця до 0,087 - 0,094 мм при одночасному зниженні зусилля прокатки.

Отримані результати розрахунків дозволяють враховувати вплив розглянутих технологічних факторів при вдосконаленні технологічного процесу прокатки широких штаб.

Ефективним технічним рішенням, що забезпечує помітне зниження товщини кінцевої ділянки смуги при незначному збільшенні енергоспоживання, є застосування проміжного розкату зі змінною по довжині товщиною. Різні умови деформації розкату на різних ділянках довжини забезпечують відповідну зміну температури, енергосилових параметрів прокатки і пружних деформацій кліті, а, отже, і товщини смуги. Змінну товщину проміжного

гуркоту можна отримати шляхом прокатки розкату на клин в останній кліті чорнової групи.

2.3. Способи та пристрої зменшення (усунення) кінцевих потовщень штаби

Аналіз літературних джерел свідчить про те, що в даний час існує проблема усунення задніх кінцевих потовщень смуг. Розглянемо різні пропозиції щодо способів вирішення цієї проблеми під час гарячої прокатки штаби [2]. Ю.В.Коновалов в роботі [4] і в наступних роботах розглядає такі способи:

- забезпечення рівності швидкості виходу розкату в першу кліть чистової групи і швидкості виходу його з останньої кліті чорнової групи стану, що зменшує градієнт температур по довжині розкату. Однак реалізація цього способу можлива при збільшенні швидкості прокатки в чистовій кліті в 1,5 - 2 рази, що на станах традиційного налаштування неможливо;
- диференційований по довжині нагрів слябів, що забезпечує негативний градієнт температур, при якому задній кінець проміжного гуркоту має температуру на 20 - 40 °C вище температур переднього кінця. Цей спосіб не може бути реалізований при транзитній (прямий) прокатці слябів на ШСГП без нагріву слябів в методичних печах;
- скорочення подачі води гідрозбиву на задній кінець розкату (перед чистовою групою клітей). У цьому випадку температура розкату на задньому кінці при швидкості $v_{зк} = 1,5 = 1,8$ м/с збільшується на 5 - 7 °C;
- застосування раціонального режиму деформації в чистовій групі клітей зі зменшенням обтиснень в останніх трьох-чирирех клітях і збільшенням в попередніх. У цьому випадку збільшення температури заднього кінця може скласти 5 - 7 °C;
- прискорення валків безперервної групи клітей із штабою після захоплення переднього кінця смуги моталками;

- застосування додаткового обтиску в чистовий групі клітей найбільш потовщеної задньої ділянки штаби;
- підвищення (і регулювання) жорсткості прокатної кліті шляхом установки між подушками опорних валків потужних гідроциліндрів (гідрораспор кліті);
- застосування різнотовщинності по довжині проміжного гуркату з більшою товщиною заднього кінця;
- зменшення коефіцієнта тертя при прокатці заднього кінця смуги в останніх клітях чистової групи шляхом подачі на валки технологічного мастила.
- використання гідравлічних пристроїв протівозгина валків. У цьому способі зменшується (усувається повністю) тиск масла в гідросистемі при проходженні смуги через кліті чистової групи.

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

В.П.Полухін [8] пропонує прокатувати розкат з прискоренням валків в останній кліті чорнової групи, що забезпечує зниження різниці температур між переднім і заднім кінцями проміжного гуркату, а також збільшує середню температуру розкату.

Значний ефект вирівнювання температури по довжині проміжного гуркату досягається застосуванням перед чистової групою клітей Койлбокс (проміжного перемотувального пристрою - ППУ).

У всіх способах відсутність натягіння переднього і заднього кінців має істотний вплив на їх потовщення.

Деякі способи зниження поздовжньої різнотовщинності гарячекатаних смуг докладніше розглянуті нижче.

2.3.1. Додаткове обтиснення задніх кінцевих ділянок штаби

Цей метод [2] застосовують на безперервних станах гарячої прокатки з використанням автоматичного регулювання товщини (САРТ). Корекцію обтиску заднього кінця смуги виконують в клітках стану по програмі на величину $\Delta S_i = 0,2 - 0,6$. Додаткове обтиснення задніх кінцевих ділянок смуг на ШСГП 2000 НЛМК (Новолипецький металургійний комбінат) забезпечує зниження товщини задніх кінців смуг ($h = 2 - 9$ мм) з $\delta h_n = 0,17 - 0,50$ мм до $\delta h_n = 0,06 - 0,16$ мм. На ШСГП 1700 (Маріупольський меткомбінат) застосування регулювання міжвалкового зазору на задніх кінцевих ділянках дозволило зменшити подовжню різнотовщинність з $\delta h_n = 0,17 - 0,50$ мм до $\delta h_n = 0,09 - 0,28$ мм, а на ШСГП 1680 меткомбінату «Запоріжсталь» величину δh_n зменшили з $\delta h_n = 0,14 - 0,26$ мм до $\delta h_n = 0,08 - 0,21$ мм. Вочевидь, сумарне додаткове обтиснення задніх ділянок смуги виявилось недостатнім для компенсації негативного впливу відсутності заднього натягу.

Недостатня ефективність регулювання міжвалкового зазору нажимними гвинтами обумовлена невеликою швидкістю їх переміщення (на ШСГП 1680 швидкість переміщення натискних гвинтів клітей чистової групи становить) $V_n \approx 0,16$ мм/с, а під навантаженням (зі штабою) всього $V_n \approx 0,07$ мм/с. При наявності в клітках стану гвинтових натискних пристроїв включення їх на зміну межвалкового розчину необхідно здійснювати в момент коли перед першою кліткою чистової групи залишається $L_k = 8 - 10$ м заднього ділянки проміжного гуркоту. При швидкості заднього кінця розкату $V_p \approx 1,0 - 1,5$ м/с переміщення натискних гвинтів кліті №5 ШСГП 1680 складе:

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

$$\Delta S_5 = V_n \cdot t_n = 0,07 (5,3 - 10) \sim 0,4 - 0,7 \text{ мм.}$$

Включення натискних пристроїв наступних клітей виконується одночасно або каскадним методом (з затримкою в часі) при автоматичному регулюванні швидкісного режиму прокатки. При такому регулюванні

міжвалкового розчину можливе зменшення товщини смуги поблизу ділянки 3 до мінусових значень щодо номінальної, але слід очікувати і суттєве зменшення товщини кінцевої ділянки 4 (рис. 1.4).

2.3.2. Регулювання між валкового зазору гідрораспором

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

$$P_Q = P + Q ,$$

де P і Q - відповідно сила прокатки і додаткова сила від гідрораспора.

У процесі прокатки зміна сили Q дозволяє регулювати міжвалкового зазор за рахунок зміни пружних деформацій стійок станини. Існують різні схеми зміни сили Q в процесі прокатки смуги. Наприклад, в сталому процесі прокатки смуги витримують $Q = \text{const}$, а перед виходом заднього кінця розкату в першу кліть чистової групи силу Q зменшують, що забезпечує додаткове обтиснення смуги на ділянці 3 - 4 (рис.1.4). Однак додаткове обтиснення смуги повинно супроводжуватися одночасно регулюванням швидкісного режиму. Велике додаткове обтиснення (будь-яким способом) в першій кліті чистової групи небажано, тому що це призводить до зниження температури потовщення штаби. Тому гідрораспором необхідно оснащувати кілька клітей стану.

Можливий і інший режим роботи гідрораспора кліті. Наприклад, при прокатці ділянки 2 (рис. 1.4) до кліті докладено максимальне зусилля Q , а в міру проходження смуги через стан додаткове зусилля Q знижують паралельно зі збільшенням товщини смуги на ділянках 2 - 3 і 3 - 4 (рис.1.4). На ділянці 4 можливо $Q = 0$. Поступове зниження зусилля Q , а, отже, і сумарною сили P_Q , забезпечує зменшення пружної деформації стійок кліті,

фактичного міжвалкового зазору і, разом з цим, товщини і поздовжньої різнотовщинності δh_n на ділянці 2 - 4 смуги.

Аналогічний ефект досягається при регулюванні по довжині смуги протівозгина робочих валків.

2.3.3 Збільшення температури заднього кінця штаби

Збільшення температури заднього кінця розкату (штаби) шляхом, наприклад, збільшення його товщини, забезпечує деяке зниження сили прокатки і кінцевого потовщення в порівнянні з прокаткою розкату з меншою товщиною і температурою [2]. Однак, ефект підвищення температури заднього кінця розкату зменшується за рахунок інтенсивного охолодження валків водою.

Помітне зменшення кінцевого потовщення забезпечується підвищенням температури заднього кінця розкату за рахунок усунення води при відключенні гідрозбиву після чистового окаліноломателя, на довжині заднього кінця розкату в межах 4 - 5 м [2]. За рахунок відбору тепла від гуркоту водою гідрозбиву втрати температури становлять 15 - 18 °C. Відповідно із збільшенням температури заднього кінця і зменшенням градієнта температур по довжині розкату відбувається деяке зменшення кінцевого потовщення. Так, при $\Delta t_5 = 60$ °C і $\Delta t_5 = 45$ °C (при відключенні гідрозбиву чистового окаліноломателя) за даними [2] для смуги 2x1250 мм кінцеве потовщення зменшується в клітках №5 і №10 відповідно на $\sim 0,12$ мм і $\sim 0,035$ мм.

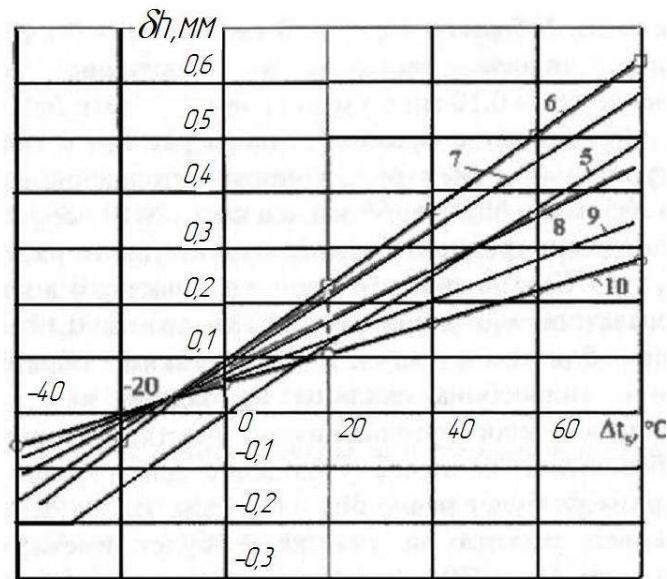


Рис.2.7. Вплив перепаду температур між ділянками 3 і 4 проміжного гуркоту на кінцеве потовщення ($H_p = 20$ мм, $L_{сл} = 4,5$ м)

На рис.2.7 представлені розрахункові величини кінцевого потовщення δh_n на ділянці 4 в залежності від Δt_5 по клітям стана 1700 (1680) під час прокатки смуги 2x1250 мм. розрахунки виконані за моделлю, розглянутої в розд. 1, 2. З рис.2.7 випливає, що при $\Delta t_5 = 0$ (застосування ППУ), кінцеві потовщення смуги в кліті №5 $\delta h_n = 0$.

Таким чином, при відключенні гідрозбиву окалини на задньому кінці розкату зменшення кінцевого потовщення на ділянці 4 складе 0,05 мм, а абсолютне кінцеве потовщення для готової штаби даного розміру дорівнюватиме $\delta h_n \sim 0,17$ мм. У тому випадку, якщо задній кінець розкату на ділянці 4 буде мати товщину більшу, ніж $H_p = 20$ мм можна отримати додаткове зменшення кінцевого потовщення після кліті №10 в межах: при $H_{p4} = 24$ мм - 0,03 мм і при $H_{p4} = 25$ мм - 0,04 мм. Отже, під час прокатки проміжного розкату з потовщенням заднього кінця на ділянці 4 до $H_{p4} = 25$ мм і відключенні гідрозбиву окалини на ділянці 4 можна зменшити товщину кінцевого потовщення на смугі 2x1250 мм на 0,102 мм і отримати абсолютне значення кінцевого потовщення в межах $\delta h_n \sim 0,05$ мм, що відповідає коливанням товщини смуги на основній її довжині.

Більш ефективним може бути процес прокатки ділянки 4 штаби при короткочасному частковому (повному) відключенні подачі води на смугу у всіх, або 2-4 останніх клітках чистової групи ШСГП перед входом заднього кінця в відповідну кліть. Для здійснення такого процесу кожна кліть (або кожні дві кліті) повинні бути обладнані відсікачами води, що працюють в автоматичному режимі. Подачу води відновлюють після виходу заднього кінця з відповідною кліткою.

У технологічному процесі, в якому застосовують міжклітєве охолодження смуги на задній кінець смуги (ділянка 4) слід подавати меншу кількість води.

3. Поздовжня різнотовщинність при прокатці за новою технологією

3.1. Технологічний процес прокатки на КПС

Підвищення ефективності традиційних ШСГП може бути здійснено різними шляхами, в тому числі і при використанні нового технічного рішення - поділу чистової групи з 6-7 клітей на дві самостійні підгрупи клітей (по 2-4 кліті в кожній підгрупі) з проміжним перемотувальним пристроєм (ППУ-Coilbox) (рис.3.1)

У цьому технічному рішенні передбачається установка ППУ не перед чистовою групою, а між підгрупами чистової групи ШСГП. Установка ППУ перед чистовою групою (на проміжному рольганзі) малоефективна й в цьому випадку виявляється не потрібною.

Як впливає з рис.3.1, чистова група ШСГП розділена на дві підгрупи по 3 кліті. Після першої підгрупи 4 встановлено ППУ-5, і додатково ножиці 8, та окалиноломатель 9, а потім самостійно працює друга підгрупа клітей 10. Проміжний розкат після чорнової групи клітей подають (після ножиць 2 і окалиноломателя 3) в першу підгрупу 4 чистової групи клітей (кліті а -в). Вихідна з кліті "3в" штаба змотується в ППУ-5 зі швидкістю $v \geq 5 \dots 12 \text{ м/с}$, а після закінчення змотування штаба з рулону 6 направляється в другу підгрупу клітей 10 (кліті г-е), в якій смугу прокатують зі швидкістю $10 \dots 25 \text{ м/с}$. Штабу прокатують одночасно в двох підгрупах. Деформаційно-швидкісний режим прокатки штаби розраховують таким чином, щоб час прокатки в другій підгрупі клітей було дещо менше, ніж у першій підгрупі клітей, а силові параметри забезпечували необхідну точність поперечного профілю смуг. Регулює температурний режим виконується за допомогою подачі води на смугу з колекторів 12, або нагрівання в прохідній індукційній печі 14. Штаби товщиною $h > 2 \text{ мм}$ транспортуються до моталки по рольгангу з душіруючого установкою.

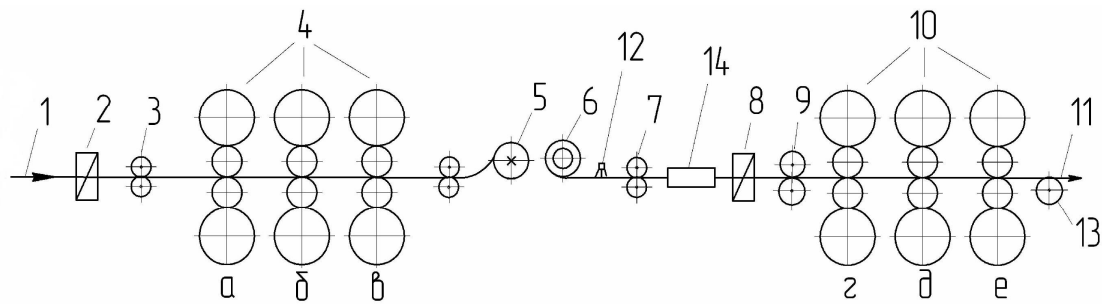


Рис.3.1. Фрагмент ШСПП з розділеною чистовою групою клітей.

1 - проміжний розкат; 2,8 - ножиці; 3,9 - чистові окаліноломателі; 4 - перша підгрупа клітей чистової групи; 5 - ППУ; 6 - рулон; 7 - тягнуть ролики; 10 - друга підгрупа клітей чистової групи; 11 - готова штаба; 12 - колектори охолодження; 13 - моталка для смуг $h < 2\text{мм}$; 14 - індукційна піч; а-е - кліті.

Штаби товщиною $h < 2\text{мм}$ змотуються моталками 13, розташованими безпосередньо за кліттю 10 е, а потім рулони передають на паралельний відвідний рольганг з розмотувачем, душируючим пристроєм, двома моталками і необхідним обладнанням (на рис.1 не показано).

До переваг розглянутого КПС з розділеними підгрупами клітей чистової групи можна віднести наступне:

1. Можливість застосування в кожній підгрупі власного температурно-деформаційно-швидкісного режиму, не пов'язаного постійністю секундного об'єму металу в клітях "а-в" і "г-е". Наприклад, збільшувати або зменшувати величину сумарного обтиску штаби незалежно, в кожній підгрупі, і тим самим, впливати на структуру і механічні властивості готової штаби.

2. При наявності ППУ-5 виявляється можливим збільшити швидкість прокатки в першій кліті чистової групи до $4 \dots 5\text{м/с}$, що забезпечить підвищення продуктивності безперервного стану, зниження температурного градієнту по довжині розкату.

3. При наявності ППУ під час і після змотування штаби в рулон 6 забезпечується проміжна рекристалізація металу з усуненням полосчастості його структури перед деформацією в другій підгрупі клітей 10, вирівнювання розмірів зерен структури, зниження величини напруження течії за рахунок

знеміцнення і енергосилових параметрів; знижується рівень внутрішніх додаткових напружень.

4. Температурні умови прокатки заднього кінця штаби рулону 6 (який був переднім в клітках 4), а також зниження силових умов прокатки в клітках 10 (г-е), забезпечують можливість прокатки на КПС смуг товщиною $h < 1,5$ мм.

5. Зміна положення кінцевих ділянок після клітей 4, (задній кінець стає переднім в рулоні 6) забезпечує підвищення точності поздовжнього профілю штаби за рахунок зміни напрямку температурного клину по довжині штаби (з прямого на зворотний щодо напрямку прокатки), а також більш високою температурою заднього кінця штаби в порівнянні з переднім кінцем (колишнім заднім кінцем в клітці 3, в). Технологія прокатки зі зміною положення кінцевих ділянок компенсує відсутність натягу кінців штаби і зменшує їх потовщення.

Оцінка можливостей запропонованої технології в зменшенні товщини кінцевих ділянок виконана за розробленою раніше розрахунковою моделю. Розрахункові порівняльні параметри прокатки на ШСГП 1680 представлені нижче. Тут відзначимо лише відмінність профілограм при прокатці на зазначених станах (рис. 3.2).

При прокатці на традиційному ШСГП (без ППУ) товщина штаби по довжині змінюється відповідно до рис.3.2, а. Товщина штаби дещо зменшується від ділянки 1 (передній кінець) до ділянки 2 (номінальна мінімальна товщина штаби), потім слідує збільшення товщини штаби до ділянки 3 внаслідок впливу температурного клину і суттєве збільшення товщини заднього кінця на ділянці 4 внаслідок відсутності натягу заднього кінця розкату у всіх клітках стану. Відповідно до розрахунків приріст товщини штаби на задньому кінці штаби з $h = 2$ (ділянка 4) в порівнянні з ділянкою 2 становить $\delta h_{II} \geq 0,153$ мм [3,4].

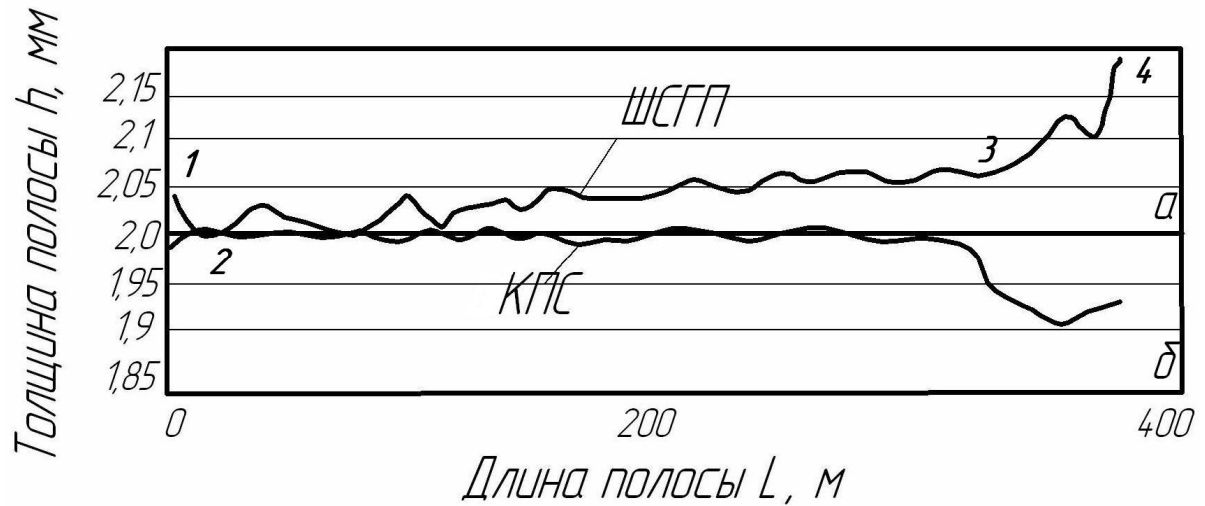


Рис.3.2. Профілограмма зміни товщини по довжині штаби 2x1030 мм (ст 08пс) при прокатці на ШСГП і КПС

При прокатці на КПС (рис.3.1) профіліграмма зміни товщини по довжині готової штаби має зовсім інший характер (рис.2, б). Після перемотування розкату після кліті №7в передній кінець розкату має велику товщину і меншу температуру [3]:

	Передній кінець	Задній кінець
h_7 , мм	5,555	5,17
t_{K7} , °C	881,7	907

Після перемотування проміжного розкату після кліті №7в і прокатки в клітках 8г-10е, товщина штаби на задньому кінці (ділянка 4) виявилася на $\delta h_{II} = -0,094$ мм менше номінальної (мінімальної) товщини на ділянці 2 (рис.2, б), при такій же температурі закінчення прокатки на КПС ($t_K = 792^\circ\text{C}$) і на ШСГП ($t_K = 793^\circ\text{C}$). Практично усувається вплив на товщину температурного клину, що утворився перед кліттю №5 ($\Delta t_5 = 65^\circ\text{C}$).

Отримання гарячекатаної штаби зі зменшеною, проти номінальної, товщиною забезпечує зниження відходу металу при обрізанні решт і підвищує вихід якісного прокату як при гарячій, так і при холодній прокатці.

Таким чином, установка ППУ в чистовий групі клітей традиційних ШСГП, або ШСГП в лінії ЛПМ, з поділом її на дві підгрупи, надає більш істотний вплив на зміну товщини по довжині штаби і відкриває широкі

можливості для регулювання температурно-деформаційно-швидкісного режиму прокатки. КПС дозволяє економити метал і випускати штаби без кінцевих потовщень не тільки для збуту на зовнішній ринок продукції у вигляді гарячекатаних смуг, але і в цех холодної прокатки для подальшого зменшення товщини штаби в холодному стані. В цьому випадку поздовжній профіль гарячекатаного підкату сприяє зменшенню кінцевий обрізу при стиковому зварюванні смуг на безперервно-травильном агрегаті (НТА) ЦХП, але, що є особливо важливим, поліпшити умови деформації задньої ділянки штаби на НСХП, так як він не буде містити спадкової позитивної різнотовщинності, а це забезпечить підвищення виходу придатного холоднокатаного прокату.

3.2. Модель розрахунку енергосилових параметрів і приріст товщини кінцевих ділянок.

При складанні попередньої таблиці обтиснень в першу чергу необхідно встановити деякі координатні параметри, без яких складно отримати позитивні результати. До таких координатних параметрів слід віднести:

- товщину готової штаби;
- відносне обтиснення в першій і останній клітках чистової групи;
- товщину розкату перед чистової групою;
- сумарне обтиснення в чорновій групі клітей;
- кількість клітей в чорновій і чистовій групах клітей.

Нижче представлений алгоритм розрахунку режиму деформації штаби на ШСГП [1,2].

1. Визначимо обтиснення і товщину штаби перед чистової кліткою (h_i) в чистовий групі:

$$\Delta h_q = h_q \left(\frac{\varepsilon_q}{1 - \varepsilon_q} \right) \quad (3.1)$$

$$h_{i-1} = h_q + \Delta h_q,$$

де $\Delta h_{\text{ч}}$ - обтиснення в чистової кліті; $h_{\text{ч}}$ - товщина штаби після чистової кліті; h_{i-1} - товщина штаби перед чистової кліттю; i - номер кліті; $\varepsilon_{\text{ч}}$ - відносне обтиснення в чистової кліті.

2. Обтиснення ($\Delta h_{\text{п}}$) в першій кліті чистової групи (мм)

$$\Delta h_{\text{п}} = \varepsilon_{\text{п}} \cdot h_{\text{р}}, \quad (3.2)$$

де $\varepsilon_{\text{п}}$ - відносне обтиснення в першій кліті чистової групи; $h_{\text{р}}$ - товщина розкату перед першою кліттю чистової групи.

$$\Delta h_{\Sigma \text{ч}} = h_{\text{р}} - h_{\text{ч}} - \Delta h_{\text{ч}} - \Delta h_{\text{п}}.$$

3. Приватні обтиски в проміжних клітях чистової групи:

шестіклетевая група ($n_i = 6 - 9$)

$$\Delta h_i = [0,085 + 0,089 (9 - n_i)^{1,3}] \cdot \Delta h_{\Sigma \text{ч}}. \quad (3.3)$$

$$\Delta h_{\Sigma \text{ч}} = \sum \Delta h_i,$$

де $\sum \Delta h_i$ - сума розрахункових значень індивідуальних обтиснень.

У випадку розбіжності необхідно виконати коригування індивідуальних обтиснень для досягнення значень $\Delta h_{\Sigma \text{ч}}$.

Товщина штаби в попередній проміжній кліті

$$h_{i-1} = h_i + \Delta h_i. \quad (3.4)$$

4. Розрахунок часу руху розкату по клітям чистової групи.

Використовуючи закон сталості секундних обсягів отримаємо:

$$v_{i-1} = \frac{h_i}{h_{i-1}} \cdot v_i. \quad (3.5)$$

Час проходження штаби (розкату) в міжклітєвих проміжках розраховуємо без урахування випередження і приймаємо швидкість руху штаби по рольгангу рівній швидкості виходу штаби з валків:

$$\tau_{\text{МК}} = L_{\text{МК}} / v_i, \quad (3.6)$$

де $\tau_{\text{МК}}$ - час проходження штаби в міжклітєвих проміжках; $L_{\text{МК}}$ - довжина міжклітєвого проміжку; v_i - середня швидкість в i -ой кліті.

Розрахунок загального часу проходження розкату по проміжному рольгангу до кліті № 5 виконуємо за формулою (для переднього кінця штаби):

$$\tau_{np,p} \approx L_p / v_4, \quad (3.7)$$

де L_p - довжина проміжного рольганга (відстань між осями клітей №4 та №5);
 v_4 - швидкість виходу штаби з кліти № 4 (з останньої кліти чорнової групи).

5. Розрахунок температури розкату і енергосилових параметрів прокатки по клітях чистової групи.

Температурний режим прокатки штаби на безперервному стані обумовлює енергосилові параметри деформації металу, витрати електроенергії на одну тонну готової продукції, точність, площинність (планшетність) і механічні властивості штаби. У загальному випадку температура розкату визначається кількістю тепла, отриманим при нагріванні, часом охолодження, умовами (кількістю і тиском подаємої на валки води, її температурою і ін.), кількістю тепла, що виділяється в розкаті під час його деформації та ін. Тепло втрачається конвекцією при зіткненні з деталями кліти (з валками), випромінюванням, а так само віддається воді.

Розрахунок виконуємо за методикою, відповідно до якої температуру штаби після кліти визначають наступним чином.

Охолодження штаби за рахунок контакту з валками визначається з виразу

$$\Delta t_b = \frac{1,83 \cdot 10^{-2} (t_{i-1} - 60) \sqrt{(1 + S_i) / v_i}}{H_i + h_i} \sqrt{R_i \arccos \left(1 - \frac{\Delta h_i}{2R_i} \right)}, \quad (3.8)$$

де R_i - радіус валків, мм; Δh_i - абсолютне обтиснення, мм; S_i - випередження;
 v_i - швидкість штаби, м/с.

Підвищення температури металу за рахунок пластичної деформації в валках дорівнює:

$$\Delta t_d = 0,428 p_{cp} \cdot \lg (H_i / h_i), \quad (3.9)$$

де p_{cp} - середнє нормальне напруження прокатки, МПа; H_i та h_i - початкова і кінцева товщина штаби, мм.

Температура штаби на виході безпосередньо з кліти визначається за виразом:

$$t_i = t_{i-1} - \Delta t_b + \Delta t_d, \quad (3.10)$$

де t_{i-1} - температура штаби перед 1-ой кліткою.

При проходженні розкату по рольгангу до наступної кліти відбувається втрата тепла за рахунок випромінювання (Δt_u). Ці втрати для визначимо за формулою:

$$\Delta t_{ui} = 19,5 \frac{T_i^4 L_i}{\nu_i \cdot h_i} \cdot 10^{-12} \quad (3.11)$$

де T_i - температура штаби i - ой кліти K^0 ; L_i - відстань між клітками.

Напруження течії метала залежить в основному від хімічного складу металу, температури, ступеня і швидкості деформації і може бути розрахована за виразом [7]:

$$\sigma_T = \sigma_{T0} \cdot k_t \cdot k_\varepsilon \cdot k_u, \quad (3.12)$$

де σ_{T0} - базове напруження течії металу, що враховує вплив хімічного складу металу; k_t , k_ε , k_u - коефіцієнти, що враховують відповідно температуру, ступінь і швидкість деформації.

Напруження течії розраховується за формулами:

при $N_1 \leq 5$ (вуглецеві, конструкційні, низьколеговані таб.3.1):

$$\sigma_{T0} = 80 + 25 \left\{ 1 - [(5 - N_1) / 4,5]^{1,8} \right\} \quad (3.13)$$

де N_1 , - вміст хімічних елементів в сталі, % (крім сірки і фосфору).

Аналіз дослідних даних показує, що узагальнений коефіцієнт k_t збільшується зі збільшенням температури по залежності, єдиної для всіх марок сталей, а максимальне відхилення щодо середнього значення не перевищує 8%:

$$k_t = 1,66 - 1,1 \left[(t / 400) - 2 \right]^{0,7}, \quad (3.14)$$

де t - температура металу.

Так як $\varepsilon > 0,1$:

$$k_\varepsilon = 1 + 0,43 [1 - 6,3(0,5 - \varepsilon)^2]. \quad (3.15)$$

Різна інтенсивність зміцнення груп сталей має місце і при збільшенні швидкості деформації « u ». Зміна функцій $k_u = \Phi(u)$ відбувається по параболічній або лінійній залежностям, а досвідчені точки досить щільно

розташовуються щодо усереднюються кривих. Це дає можливість з достатньою для практики точністю використовувати отримані залежності в розрахунках. Для зручності розрахунку коефіцієнта k_u використовуємо емпіричні формули, екстраполюється досвідчені залежності.

$$\left. \begin{aligned} k_u &= 0,38 + 0,065(7 + \ln(u)) \text{ при } u = 0,4 - 10 \text{ с}^{-1} \\ k_u &= 1,03 + 0,1 \cdot (\ln(u) - 2,3)^{1,5} \text{ при } u \geq 10. \end{aligned} \right\} \quad (3.16)$$

Таблиця 3.1 - Групи сталей для розрахунку напруження течії

Група сталей	Метал
I	Вуглецеві, інструментальні сталі 08кп; 08ю; 20; Ст.3; 45; Ст.6; У8-У10 и др.
II	Низьколеговані, леговані сталі 40Х; ШХ15; 15ХСНД; 14ГН; 12ХНЗА
III	20ХНМ; 60ХНГС2М; 30ХГСА; 18Х2Н4МВА; ХВГ; 60С2
IV	10ХН; 12Х17; 18ХГТ
V	20Х5НГ2; 15Х5М; 12ХНМФА; 20ХГНМ; 20ХГНР; 45ХН
VI	18ХГТ; 20ХГНР; 45ХН
VII	Високолеговані сталі 4Х13; Х16Н5М4; Х17Н2; Х18Н9Т; Х18Н12М2Т; Р18

Довжина дуги контакту:

$$l_d = \sqrt{R \cdot \Delta h} . \quad (3.17)$$

У процесі прокатки, під дією сили, робочі валки пружно деформуються, що призводить до збільшення дуги контакту. Довжина дуги контакту з урахуванням пружної деформації валків:

$$\left. \begin{aligned}
 l_C^I &= \frac{c + \sqrt{c^2 + 4R\Delta h \left(1 - c \frac{f_I}{2h_{\bar{n}\delta}}\right)}}{2 \left(1 - c \frac{f_I}{2h_{\bar{n}\delta}}\right)}; \\
 c &= n_{cp} \cdot \sigma_\phi \frac{R}{47500}; \\
 n_{CP} &= 1 - \frac{\sigma_n}{\sigma_\phi} - \frac{\sigma_3}{\sigma_\phi}.
 \end{aligned} \right\} \quad (3.18)$$

Коефіцієнт n_{cp} - враховує вплив натягу штаби на середнє нормальне напруження.

Показник тертя визначаємо за формулою:

$$f_{II} = f \cdot (0,92 + 1,27 \cdot \varepsilon), \quad (3.19)$$

Де ε - відносне обтиснення; f - коефіцієнт тертя.

Коефіцієнт тертя в сталому процесі прокатки визначається за формулою:

$$f = f_0 \cdot k_B \cdot k_T \cdot k_M \cdot k_V \cdot k_{CM}, \quad (3.20)$$

де f_0 - базовий коефіцієнт тертя, що залежить від температури металу; k_B , k_T , k_M , k_V , k_{CM} - поправочні коефіцієнти, що враховують вплив відповідно стану поверхні валків, твердості валків, матеріалу валків, окружної швидкості валків, типу технологічного мастила:

$$\left. \begin{aligned}
 f_0 &= 0,27 - 0,1 \left(\frac{t}{400} - 2 \right)^2; \\
 k_T &= 1 + 0,43 (1 - \text{HSD}/65)^2; \\
 k_V &= 0,76 + 0,82 (1,0 - 0,1 \cdot v)^2 \text{ при } v < 10 \text{ м/с}; \\
 k_V &= 0,76 \text{ при } v > 10 \text{ м/с},
 \end{aligned} \right\} \quad (3.21)$$

де t - температура металу °С; HSD - твердість по Шору; v - окружна швидкість валків, м/с.

Для сталевих і чавунних валків після початку роботи - $k_B = 1,2$, для сталевих валків з грубої поверхні - $k_B = 1,25 - 1,4$.

При прокатці: без змащення - $k_{CM} = 1,15$, з водою - $k_{CM} = 1,0$; з емульсією мінерального масла - $k_{CM} = 0,9$.

При прокатці: стали марок: 08кп, Ст.3, ШХ15 - $k_m = 1,0$; Ст.20, Х18Н9 - $k_m = 0,95$; Ст.45 - $k_m = 0,9$ і т.д.

Середнє нормальне контактне напруження розраховуємо за виразом:

$$p_{cp} = 1,15 \cdot \sigma_T (1 + 0,48 \cdot f_{II} \cdot l_d / h_{cp}); \quad (3.22)$$

де σ_T – напруження течії металу; f_{II} - показник тертя; l_d - довжина дуги контакту; h_{cp} - середня товщина штаби.

Середнє нормальне контактне напруження з урахуванням переднього і заднього натягу:

$$p_{CP} = p'_{CP} \left(1 - \frac{\sigma_{II}}{p'_{CP}} - \frac{\sigma_3}{p'_{CP}} \right), \quad (3.23)$$

де, σ_{II} , σ_3 - переднє і заднє натягіння штаби.

Зусилля прокатки:

$$P = p_{cp} \cdot l_d \cdot B_{cp}. \quad (3.24)$$

Момент прокатки на двох валках з урахуванням переднього и заднього натягіння дорівнює:

$$M = 2 \cdot \psi_c \cdot P \cdot l_c + H \cdot B \cdot R \cdot \sigma_3 \cdot 10^{-6} \left(1 - \frac{h}{H} \cdot \frac{b}{B} \cdot \frac{\sigma_{II}}{\sigma_3} \right), \quad (3.25)$$

де $\psi_{\tilde{n}}$ - коефіцієнт положення рівнодіючої з урахуванням пружного сплюснення валків:

$$\psi_c = \psi \cdot (l_d / l_c)^2. \quad (3.26)$$

Коефіцієнт положення рівнодіючої (плеча моменту) при прокатці в жорстких валках (без урахування сплюснення валків) розраховується за формулами:

$$\left. \begin{aligned} \psi &= 0,51 \cdot (l_d / h_{cp})^{-0,1} \text{ при } l_d / h_{cp} = 1 \dots 3,5; \\ \psi &= 0,5 \cdot (l_d / h_{cp})^{-0,092} \text{ при } l_d / h_{cp} > 3,5. \end{aligned} \right\} \quad (3.27)$$

Оскільки використовується ітераційна модель розрахунку отже визначаємо:

- зміну товщини штаби на будь-якій ділянці довжини;
- модуль жорсткості штаби на досліджуваній ділянці;
- коефіцієнт, що враховує нелінійність зміни модуля жорсткості штаби.

Раніше відзначали, що приріст товщини штаби, при зміні параметрів прокатки, можна визначити за експериментальними значеннями сили прокатки. В експериментальних умовах виміряна сила враховує відповідну зміну модуля жорсткості штаби. При теоретичному розрахунку приросту товщини штаби δh_{II} на будь-якій ділянці довжини необхідно враховувати кількісне зміна модуля жорсткості штаби. Беручи до уваги, що при прокатці однієї і тієї ж штаби існує тісний зв'язок між модулем жорсткості штаби M_{II} , силою прокатки і обтисненням, приріст товщини штаби доцільно розраховувати щодо мінімальної її товщини при мінімальній силі $P_{\min}$ прокатки (точка 2 на рис. 2.1). Це виключає необхідність визначення попереднього (установчого) зазору S_0 , який дорівнює:

$$S_0 = A - 2D_P - D_{II} ,$$

де A - фактична відстань між осями опорних валків; D_P , D_{II} - фактичні параметри робочого і опорного валків.

Зміна товщини штаби на будь-якій ділянці довжини визначається за виразом:

$$\delta h_i = (P_i - P_2) / (M_{\hat{E}\hat{E}} - \delta M_i) , \quad (3.28)$$

де P_i і P_2 - сили прокатки в точках i та 2; δM_i - відмінність модулів жорсткості в точках i та 2.

Модуль жорсткості штаби на досліджуваній ділянці та на ділянці з мінімальною товщиною:

$$\delta M_{II} = M_{IIi} - M_{II2} \quad (3.29)$$

де M_{IIi} та M_{II2} - модулі жорсткості штаби в точках i і 2.

$$\left. \begin{aligned} M_{IIi} &= \frac{\varphi_i \cdot P_i}{\Delta h_i}; \end{aligned} \right\}$$

$$\varphi_i = (0,57 + 0,62 \cdot \varepsilon_i) \cdot \left[1 + 0,023 \cdot \left(\frac{R_i}{H_i} \right)^{0,5} \right], \quad (3.30)$$

де φ_i - коефіцієнт, що враховує нелінійність зміни модуля жорсткості штаби при зміні параметрів прокатки.

Формули (3.28) і (3.29) можуть бути використані для теоретичного розрахунку приросту товщини штаби ітераційним способом при одночасній зміні всіх параметрів прокатки. У першій ітерації проводять розрахунок зусиль P_2 і P_i , при заданому розмірі штаби. Одночасно розраховують також $M_{П2}$ і $M_{Пi}$. За отриманого значення $\delta h_{П}$ визначають товщину h' і всі інші параметри на ділянках 2 та $i = 4$, а потім виконують другу і наступні ітерації до отримання відмінності в сусідніх розрахунках в межах $\Delta = \pm 0,003$ мм.

Потужність прокатки визначають за виразом:

$$N = 960 \cdot M \cdot v / R, \quad (3.31)$$

де M - крутний момент на двох валках з урахуванням натягу штаби, МН·м; v - окружна швидкість валків в даній кліті, м/с; R - радіус робочих валків, м.

3.3. Розрахунок енергосилових параметрів та обтиснення по клітям стану.

1. Визначимо обтиснення і товщину штаби перед чистової кліттю (h_i) в чистовий групі:

$$\Delta h_{ч} = 2,5 \cdot \left(\frac{0,15}{1 - 0,15} \right) = 0,44 \text{ мм};$$

$$h_9 = 2,5 + 0,44 = 2,94 \text{ мм}.$$

2. Обтиснення (Δh_n) в першій кліті чистової групи (мм):

$$\Delta h_{П} = 0,45 \cdot 28 = 12,6 \text{ мм};$$

$$\Delta h_{\Sigma ч} = h_p - h_{ч} - \Delta h_{ч} - \Delta h_n = 28 - 2,5 - 0,44 - 12,6 = 12,46 \text{ мм}.$$

3. Часні значення обтиснення в проміжних клітях чистової групи:

шостиклітєвая група ($n_i = 6 - 9$)

$$\Delta h_6 = [0,085 + 0,089 (9 - 6)^{1,3}] 12,46 = 5,7 \text{ мм};$$

$$\Delta h_7 = [0,085 + 0,089 (9 - 7)^{1,3}] 12,46 = 3,7 \text{ мм};$$

$$\Delta h_8 = [0,085 + 0,089 (9 - 8)^{1,3}] 12,46 = 2,1 \text{ мм};$$

$$\Delta h_9 = [0,085 + 0,089 (9 - 9)^{1,3}] 12,46 = 1,05 \text{ мм}.$$

Товщина штаби в попередній проміжній кліті:

$$h_8 = h_9 + \Delta h_9 = 2,94 + 1,05 = 3,99 \text{ мм};$$

$$h_7 = h_8 + \Delta h_8 = 3,99 + 2,1 = 6,09 \text{ мм};$$

$$h_6 = h_7 + \Delta h_7 = 6,09 + 3,7 = 9,79 \text{ мм};$$

$$h_5 = h_6 + \Delta h_6 = 9,79 + 5,7 = 15,49 \text{ мм}.$$

Таблиця 3.2. Товщина штаби і обтиску в клітях стану при прокатці штаби 2,5x1200 мм.

Чистова група				
№ кліті	H, мм	h, мм	Δh , мм	ε , %
5	28	15,49	12,51	0,44
6	15,49	9,79	5,7	0,36
7	9,79	6,09	3,7	0,37
8	6,09	3,99	2,1	0,34
9	3,99	2,94	1,05	0,26
10	2,94	2,5	0,44	0,15

Розрахунок швидкості руху розкату по клітям чистової групи:

$$v_9 = \frac{h_{10}}{h_9} \cdot v_{10} = \frac{2,5}{2,94} \cdot 9 = 7,6 \text{ м / с};$$

$$v_8 = \frac{h_9}{h_8} \cdot v_9 = \frac{2,94}{3,99} \cdot 7,6 = 5,6 \text{ м / с};$$

$$v_7 = \frac{h_8}{h_7} \cdot v_8 = \frac{3,99}{6,09} \cdot 5,6 = 3,7 \text{ м / с};$$

$$v_6 = \frac{h_7}{h_6} \cdot v_7 = \frac{6,09}{9,79} \cdot 3,7 = 2,3 \text{ м / с};$$

$$v_5 = \frac{h_6}{h_5} \cdot v_6 = \frac{9,79}{15,49} \cdot 2,3 = 1,45 \text{ м / с}.$$

Час проходження штаби (розкату) в міжкліткових проміжках:

$$\tau_{\text{МК5}} = L_{\text{МК}} / v_9 = 6 / 1,45 = 4,13 \text{ с};$$

$$\tau_{\text{МК6}} = L_{\text{МК}} / v_6 = 6 / 2,3 = 2,6 \text{ с};$$

$$\tau_{\text{МК7}} = L_{\text{МК}} / v_7 = 6 / 3,7 = 1,6 \text{ с};$$

$$\tau_{\text{МК8}} = L_{\text{МК}} / v_8 = 6 / 5,6 = 1,07 \text{ с};$$

$$\tau_{\text{МК9}} = L_{\text{МК}} / v_9 = 6 / 7,6 = 0,66 \text{ с}.$$

Розрахунок загального часу проходження розкату по проміжному рольгангу до кліті № 5:

$$L_{10} = L_p \cdot h_{p5} / h_{10} = 40 \cdot 28 / 2,5 = 448 \text{ м};$$

$$\tau_{\text{пр.р}} \approx L_p / v_4 = 40 / 2,25 = 17,7 \text{ с};$$

$$\tau_{10} = L_{10} / v_{10} = 448 / 9 = 49,8 \text{ с}.$$

Кліть № 5. Передній кінець. Точка 2. Втрата тепла в кліті № 5 від контакту металу з валками дорівнює (приймаємо $S_i = 0,06$ за всіма клітями):

$$\Delta t_{\text{Б5}} = \frac{0,0183(990-60)\sqrt{1,06/1,45}}{28+15,49} \sqrt{300 \cdot \arccos\left(1 - \frac{12,51}{600}\right)} = 18,01^\circ\text{C}.$$

Вміст хімічних елементів у сталі 08кп: 0,18% С; 0,21% Si; 0,47% Mn.

$$N_1 = 0,18 + 0,21 + 0,47 = 0,86\%;$$

$$u = v \cdot \varepsilon / l_d = 1450 \cdot 0,45 / 61,2 = 10,6 \text{ с}^{-1};$$

$$\sigma_{\text{Тд}} = 80 + 25 \left\{ 1 - [(5 - 0,86) / 4,5]^{1,8} \right\} = 83,5 \text{ МПа};$$

$$k_t = 1,66 - 1,1(990 / 400 - 2)^{0,7} = 1,007;$$

$$k_\varepsilon = 1 + 0,43[1 - 6,3(0,5 - 0,45)^2] = 1,45;$$

$$k_u = 0,38 + 0,065(7 + \ln 10,6) = 0,99;$$

$$\sigma_T = 83,5 \cdot 0,99 \cdot 1,45 \cdot 1,007 = 120,5 \text{ МПа};$$

Розігрів штаби за рахунок тепла, що виділяється при пластичній деформації в кліті:

$$\Delta t_{d5} = 0,428 \cdot 225,5 \cdot \lg(28/15,49) \approx 23,7^\circ\text{C}.$$

Температура переднього кінця штаби після кліті № 5 дорівнює:

$$t_5 = 990 - 18,01 + 23,7 = 995,69^\circ\text{C}.$$

$$\Delta t_{ui} = 19,5 \frac{(965,69 + 273)^4 \cdot 6_i}{1,45 \cdot 15,49} \cdot 10^{-12} = 13,4^\circ\text{C},$$

$$t'_6 = 995,69 - 13,04 = 982,2^\circ\text{C}.$$

Температура заднього кінця розкату:

$$t_5 = 990 - 29,18 = 960,81^\circ\text{C};$$

Коефіцієнт тертя:

$$f_0 = 0,27 - 0,1 \cdot \left(\frac{960,81}{400} - 2 \right)^2 = 0,25;$$

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

$$k_V = 0,76 + 0,82 (1,0 - 0,1 \cdot 1,45)^2 = 1,35;$$

$$k_B = 1,2; k_{cm} = 1,0; k_M = 1,0;$$

$$f = 0,25 \cdot 1,04 \cdot 1,35 \cdot 1,2 \cdot 1 \cdot 1 = 0,41;$$

$$f_{II} = 0,41 \cdot (0,92 + 1,27 \cdot 0,45) = 0,61;$$

$$l_d = \sqrt{300 \cdot 12,51} = 61,2 \text{ мм};$$

$$h_{CP} = \frac{28 + 15,49}{2} = 21,75 \text{ мм};$$

$$p'_{CP} = 1,15 \cdot 120,5 \cdot (1 + 0,48 \cdot 0,61 \cdot 2,81) = 282,5 \text{ Н / мм}^2;$$

$$p_{CP} = 282,5 \cdot \left(1 - \frac{15}{232,5} - \frac{15}{232,5} \right) = 252,5 \text{ Н / мм}^2 \cdot$$

Сила прокатки:

$$P = 252,5 \cdot 0,0612 \cdot 1,2 = 18,5436 \text{ МН}.$$

Момент прокатки:

$$M = 2 \cdot 0,37 \cdot 18,543 \cdot 61,2 + 28 \cdot 1200 \cdot 300 \cdot 15 \cdot 10^{-6} \left(1 - \frac{15,49}{28} \cdot \frac{1200}{1200} \cdot \frac{15}{15} \right) = 1,066 \text{ МН} \cdot \text{м}.$$

Потужність прокатки:

$$N = 960 \cdot 1,066 \cdot 1,45 / 300 = 5206 \text{ кВт.}$$

Для заднього кінця розкату точка 4:

Втрати тепла на проміжному рольганзі між кліттю №4 та №5:

$$\Delta t_{u1} = \frac{16,8 \cdot 17,7 \cdot 1,08}{28} \left(\frac{990 + 273}{1000} \right)^4 = 29,18^\circ\text{C}.$$

$$u = 1450 \cdot 0,45 / 61,2 = 10,6 \text{ с}^{-1};$$

$$N_1 = 0,18 + 0,21 + 0,47 = 0,86\%;$$

$$\sigma_{T6} = 80 + 25 \left\{ 1 - [(5 - 0,86) / 4,5]^{1,8} \right\} = 83,5 \text{ Н / мм}^2;$$

$$k_t = 1,66 - 1,1(960,24 / 400 - 2)^{0,7} = 1,22;$$

$$k_\varepsilon = 1 + 0,43 \left[1 - 6,3(0,5 - 0,45)^2 \right] = 1,45;$$

$$k_u = 1,03 + 0,1 \cdot (\ln 10,6 - 2,3)^{1,5} = 1,03$$

$$\sigma_T = 83,5 \cdot 1,03 \cdot 1,45 \cdot 1,22 = 146,5 \text{ Н / мм}^2;$$

Втрати тепла в кліті № 5 від контакту металу з валками:

$$\Delta t_B = \frac{0,0183(990 - 60)\sqrt{1,06/1,45}}{28 + 15,49} \sqrt{300 \cdot \arccos \left(1 - \frac{12,51}{600} \right)} = 17,9^\circ\text{C}$$

Розігрів штаби за рахунок тепла, що виділяється при пластичній деформації в кліті:

$$\Delta t_{d5} = 0,428 \cdot 252,5 \cdot \lg (28/15,49) \approx 27,8^\circ\text{C}.$$

Температура заднього кінця штаби на виході з кліті №5 дорівнює:

$$t_5 = 960,81 - 17,9 + 27,8 = 970,71^\circ\text{C}.$$

Втрати тепла на випромінювання:

$$\Delta t_{ui} = 19,5 \frac{(970,71 + 273)^4 \cdot 6}{1,45 \cdot 15,49} \cdot 10^{-12} = 10,47^\circ\text{C}.$$

Температура заднього кінця розкату перед кліттю №6:

$$t'_6 = 970,71 - 10,47 = 960,24^\circ\text{C}.$$

Коефіцієнт тертя:

$$f_0 = 0,27 - 0,1 \cdot \left(\frac{960,24}{400} - 2 \right)^2 = 0,26;$$

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

$$k_V = 0,76 + 0,82 (1,0 - 0,1 \cdot 1,45)^2 = 1,35$$

$$k_B = 1,2; k_{CM} = 1,0; k_M = 1,0;$$

$$f = 0,26 \cdot 1,04 \cdot 1,35 \cdot 1,2 \cdot 1 \cdot 1 = 0,42;$$

$$f_{II} = 0,42 \cdot (0,92 + 1,27 \cdot 0,45) = 0,62;$$

$$l_d = \sqrt{300 \cdot 12,51} = 61,2 \text{ мм};$$

$$h_{CP} = \frac{28 + 15,49}{2} = 21,75 \text{ мм};$$

$$p'_{CP} = 1,15 \cdot 146,05 \cdot (1 + 0,48 \cdot 0,62 \cdot 2,81) = 323,4 \text{ Н / мм}^2;$$

$$p_{CP} = 323,4 \cdot \left(1 - \frac{15}{323,4} \right) = 308,4 \text{ Н / мм}^2$$

Сила прокатки:

$$P = 308,4 \cdot 0,0612 \cdot 1,2 = 22,64 \text{ МН};$$

Момент прокатки:

$$M = 2 \cdot 0,37 \cdot 22,64 \cdot 61,2 = 1,038 \text{ МН} \cdot \text{м}.$$

Потужність прокатки:

$$N = 960 \cdot 1,038 \cdot 1,45 / 300 = 4816 \text{ кВт}.$$

Приймаємо товщину заднього кінця розкату:

$$h'_5 = 15,49 + 1,003 = 16,493 \text{ мм}$$

$$\Delta h = 28 - 16,493 = 11,507 \text{ мм}$$

$$\varepsilon = 0,41$$

$$u = \frac{1450 \cdot 0,41}{\sqrt{300 \cdot 11,507}} = 10,1 \text{ с}^{-1}$$

Продовжуємо ітераційний розрахунок до тих пір поки

$$h_{i+1} - h_i \leq \pm 0,003 \text{ мм}$$

Для першої ітерації:

$$u = 1450 \cdot 0,45 / 61,2 = 10,6 \text{ с}^{-1};$$

$$N_1 = 0,18 + 0,21 + 0,47 = 0,86\%;$$

$$\sigma_{T0} = 80 + 25 \left\{ 1 - \left[(5 - 0,86) / 4,5 \right]^{1,8} \right\} = 83,5 \text{ Н / мм}^2;$$

$$k_t = 1,66 - 1,1 \cdot (960,24 / 400 - 2)^{0,7} = 1,22;$$

$$k_\varepsilon = 1 + 0,43 \left[1 - 6,3(0,5 - 0,41)^2 \right] = 1,41;$$

$$k_u = 0,38 + 0,065(7 + \ln 10,1) = 0,98;$$

$$\sigma_T = 83,5 \cdot 0,98 \cdot 1,41 \cdot 1,22 = 140,6 \text{ Н / мм}^2;$$

Втрати тепла в кліті № 5 від контакту металу з валками:

$$\Delta t_B = \frac{0,0183(960,24 - 60)\sqrt{1,06/1,45}}{28 + 16,493} \sqrt{300 \cdot \arccos \left(1 - \frac{11,507}{600} \right)} = 17,2^\circ\text{C}$$

Розігрів штаби за рахунок тепла, що виділяється при пластичної деформації в кліті:

$$\Delta t_{d5} = 0,428 \cdot 308,4 \cdot \lg (28/16,493) \approx 30,3^\circ\text{C}.$$

Температура заднього кінця штаби на виході з кліті № 5 дорівнює:

$$t_5 = 960,24 - 17,2 + 30,3 = 963,34^\circ\text{C}.$$

Втрати тепла на випромінювання:

$$\Delta t_{ui} = 19,5 \frac{(963,34 + 273)^4 \cdot 6}{1,45 \cdot 16,493} \cdot 10^{-12} = 10,2^\circ\text{C}$$

Температура заднього кінця розкату перед кліттю №6:

$$t'_6 = 963,34 - 10,2 = 953,14^\circ\text{C}$$

Коефіцієнт тертя:

$$f_0 = 0,27 - 0,1 \left(\frac{953,14}{400} - 2 \right)^2 = 0,262;$$

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

$$k_V = 0,76 + 0,82 (1,0 - 0,1 \cdot 1,45)^2 = 1,35$$

$$k_B = 1,2; k_{CM} = 1,0; k_M = 1,0$$

$$f = 0,262 \cdot 1,04 \cdot 1,35 \cdot 1,2 \cdot 1 \cdot 1 = 0,42$$

$$f_{II} = 0,42 \cdot (0,92 + 1,27 \cdot 0,41) = 0,6$$

$$l_d = \sqrt{300 \cdot 11,507} = 59,8 \text{ мм}$$

$$h_{CP} = \frac{28 + 16,493}{2} = 22,246 \text{ мм}$$

$$p'_{CP} = 1,15 \cdot 140,05 \cdot (1 + 0,48 \cdot 0,6 \cdot 2,64) = 299,3 \text{ Н / мм}^2$$

$$p_{CP} = 299,3 \left(1 - \frac{15}{299,3} \right) = 284,6 \text{ Н / мм}^2$$

Сила прокатки:

$$P = 284,6 \cdot 0,0598 \cdot 1,2 = 20,9 \text{ МН};$$

Момент прокатки:

$$M = 2 \cdot 0,37 \cdot 20,9 \cdot 59,8 = 0,924 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Потужність прокатки:

$$N = 960 \cdot 0,924 \cdot 1,45 / 300 = 4287 \text{ кВт}.$$

Модуль жорсткості штаби в точці 4:

$$M_{п4} = \frac{20,9 \cdot 0,88}{11,507} = 1,6 \text{ МН / мм};$$

$$\varphi_i = (0,57 + 0,62 \cdot 0,41) \cdot \left[1 + 0,023 \cdot \left(\frac{300}{28} \right)^{0,5} \right] = 0,88$$

$$\delta M_{п} = 1,6 - 1,35 = 0,25 \text{ Н / мм}^2$$

Зміна товщини штаби на ділянці 2-4:

$$\delta h_1 = \frac{20,9 - 18,5436}{3,7 + 0,25} = 0,5822 \text{ мм}$$

Приймаємо товщину заднього кінця розкату:

$$h'_5 = 15,49 + 0,5822 = 16,0722 \text{ мм}$$

$$\Delta h = 28 - 16,0722 = 11,9278 \text{ мм}$$

$$\varepsilon = 0,42$$

$$u = \frac{1450 \cdot 0,42}{\sqrt{300 \cdot 11,9278}} = 10,2 \text{ с}^{-1}$$

Так як $16,493 - 16,0722 = 0,4208 \geq \pm 0,003 \text{ мм}$ продовжуємо ітерацію.

Для другої ітерації:

$$N_1 = 0,18 + 0,21 + 0,47 = 0,86\%;$$

$$\sigma_{T0} = 80 + 25 \left\{ 1 - \left[(5 - 0,86) / 4,5 \right]^{1,8} \right\} = 83,5 \text{ Н / мм}^2;$$

$$k_t = 1,66 - 1,1(960,24/400 - 2)^{0,7} = 1,22;$$

$$k_\varepsilon = 1 + 0,43[1 - 6,3(0,5 - 0,42)^2] = 1,41;$$

$$k_u = 0,38 + 0,065(7 + \ln 10,2) = 0,98;$$

$$\sigma_T = 83,5 \cdot 0,98 \cdot 1,41 \cdot 1,22 = 138,6 \text{ Н / мм}^2;$$

Втрати тепла в кліті № 5 від контакту металу з валками:

$$\Delta t_B = \frac{0,0183(982,2 - 60)\sqrt{1,06/1,45}}{28 + 16,0722} \sqrt{300 \cdot \arccos\left(1 - \frac{11,9278}{600}\right)} = 17,56^\circ\text{C}$$

Розігрів штаби за рахунок тепла, що виділяється при пластичної деформації в кліті:

$$\Delta t_{d5} = 0,428 \cdot 284,6 \cdot \lg(28/16,0722) \approx 29,4^\circ\text{C}.$$

Температура заднього кінця штаби на виході з кліті № 5 дорівнює:

$$t_5 = 960,24 - 17,56 + 29,4 = 972,08^\circ\text{C}.$$

Втрати тепла на випромінювання:

$$\Delta t_{ui} = 19,5 \frac{(972,08 + 273)^4 \cdot 6}{1,45 \cdot 16,0722} \cdot 10^{-12} = 10,1^\circ\text{C}$$

Температура заднього кінця розкату перед кліттю №6:

$$t'_6 = 972,08 - 10,1 = 962,08^\circ\text{C}$$

Коефіцієнт тертя:

$$f_0 = 0,27 - 0,1\left(\frac{962,08}{400} - 2\right)^2 = 0,261;$$

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

$$k_V = 0,76 + 0,82(1,0 - 0,1 \cdot 1,45)^2 = 1,35$$

$$k_B = 1,2; k_{cm} = 1,0; k_M = 1,0$$

$$f = 0,261 \cdot 1,04 \cdot 1,35 \cdot 1,2 \cdot 1 \cdot 1 = 0,42$$

$$f_{II} = 0,42 \cdot (0,92 + 1,27 \cdot 0,42) = 0,61$$

$$l_d = \sqrt{300 \cdot 11,9278} = 57,3 \text{ мм}$$

$$h_{CP} = \frac{28 + 16,0722}{2} = 22,0361 \text{ мм}$$

$$p'_{CP} = 1,15 \cdot 138,6 \cdot (1 + 0,48 \cdot 0,6 \cdot 2,64) = 300,04 \text{ Н / мм}^2$$

$$p_{cp} = 300,04 \left(1 - \frac{15}{300,04} \right) = 285,04 \text{ Н / мм}^2$$

Сила прокатки:

$$P = 285,04 \cdot 0,0573 \cdot 1,2 = 20,93 \text{ МН};$$

Момент прокатки:

$$M = 2 \cdot 0,37 \cdot 20,93 \cdot 57,3 = 0,887 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Потужність прокатки:

$$N = 960 \cdot 0,887 \cdot 1,45 / 300 = 4117 \text{ кВт}.$$

Модуль жорсткості штаби в точці 4:

$$M_{п4} = \frac{20,93 \cdot 0,88}{11,9278} = 1,54 \text{ МН / мм};$$

$$\varphi_i = (0,57 + 0,62 \cdot 0,42) \left[1 + 0,023 \cdot \left(\frac{300}{28} \right)^{0,5} \right] = 0,88$$

$$\delta M_{п} = 1,54 - 1,35 = 0,19 \text{ Н / мм}^2$$

Зміна товщини штаби на ділянці 2-4:

$$\delta h_1 = \frac{20,93 - 18,5436}{3,7 + 0,19} = 0,5989 \text{ мм}$$

Приймаємо товщину заднього кінця розкату:

$$h'_5 = 15,49 + 0,5989 = 16,0889 \text{ мм}$$

$$\Delta h = 28 - 16,0889 = 11,9111 \text{ мм}$$

$$\varepsilon = 0,43$$

$$u = \frac{1450 \cdot 0,42}{\sqrt{300 \cdot 11,9111}} = 10,4 \text{ с}^{-1}$$

Так як $16,0889 - 16,0722 = 0,0167 \geq \pm 0,003 \text{ мм}$ продовжуємо ітерацію.

Для третьої ітерації:

$$N_1 = 0,18 + 0,21 + 0,47 = 0,86\%;$$

$$\sigma_{T6} = 80 + 25 \left\{ 1 - \left[(5 - 0,86) / 4,5 \right]^{1,8} \right\} = 83,5 \text{ Н / мм}^2;$$

$$k_t = 1,66 - 1,1(960,24 / 400 - 2)^{0,7} = 1,22;$$

$$k_\varepsilon = 1 + 0,43 \left[1 - 6,3(0,5 - 0,43)^2 \right] = 1,42;$$

$$k_u = 0,38 + 0,065(7 + \ln 10,4) = 0,98;$$

$$\sigma_T = 83,5 \cdot 0,98 \cdot 1,415 \cdot 1,22 = 141,094 \text{ Н / мм}^2;$$

Втрати тепла в кліті № 5 від контакту металу з валками:

$$\Delta t_B = \frac{0,0183(960,24 - 60)\sqrt{1,06/1,45}}{28 + 16,0889} \sqrt{300 \cdot \arccos\left(1 - \frac{11,9111}{600}\right)} = 17,55^\circ\text{C}$$

Розігрів штаби за рахунок тепла, що виділяється при пластичної деформації в кліті:

$$\Delta t_{d5} = 0,428 \cdot 285,02 \cdot \lg(28/16,0889) \approx 29,3^\circ\text{C}.$$

Температура заднього кінця штаби на виході з кліті № 5 дорівнює:

$$t_5 = 960,24 - 17,55 + 29,3 = 971,99^\circ\text{C}.$$

Втрати тепла на випромінювання:

$$\Delta t_{ui} = 19,5 \frac{(971,99 + 273)^4 \cdot 6}{1,45 \cdot 16,0889} \cdot 10^{-12} = 10,1^\circ\text{C}$$

Температура заднього кінця розкату перед кліттю №6:

$$t'_6 = 971,99 - 10,1 = 961,89^\circ\text{C}$$

Коефіцієнт тертя:

$$f_0 = 0,27 - 0,1 \left(\frac{961,89}{400} - 2 \right)^2 = 0,261;$$

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

$$k_V = 0,76 + 0,82 (1,0 - 0,1 \cdot 1,45)^2 = 1,35$$

$$k_B = 1,2; k_{cm} = 1,0; k_M = 1,0$$

$$f = 0,261 \cdot 1,04 \cdot 1,35 \cdot 1,2 \cdot 1 \cdot 1 = 0,42$$

$$f_{II} = 0,42 \cdot (0,92 + 1,27 \cdot 0,43) = 0,61$$

$$l_d = \sqrt{R \cdot \Delta h} = \sqrt{300 \cdot 11,9111} = 59,77 \text{ мм}$$

$$h_{CP} = \frac{28 + 16,0889}{2} = 22,04445 \text{ мм}$$

$$p'_{CP} = 1,15 \cdot 141,094 \cdot (1 + 0,48 \cdot 0,61 \cdot 2,71) = 306,9 \text{ Н / мм}^2;$$

$$p_{CP} = 306,9 \left(1 - \frac{15}{306,9} \right) = 291,9 \text{ Н / мм}^2;$$

Зусилля прокатки:

$$P = 291,9 \cdot 0,0612 \cdot 1,2 = 21,45 \text{ МН};$$

Момент прокатки:

$$M = 2 \cdot 0,37 \cdot 21,45 \cdot 59,7 = 0,947 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Потужність прокатки:

$$N = 960 \cdot 0,947 \cdot 1,45 / 300 = 4396 \text{ кВт}.$$

Модуль жорсткості штаби в точці 4:

$$M_{п4} = \frac{21,45 \cdot 0,85}{11,9111} = 1,54 \text{ МН} / \text{мм};$$

$$\varphi_i = (0,57 + 0,62 \cdot 0,42) \left[1 + 0,023 \cdot \left(\frac{300}{28} \right)^{0,5} \right] = 0,85$$

$$\delta M_{п} = 1,54 - 1,35 = 0,19 \text{ Н} / \text{мм}^2$$

Зміна товщини штаби на ділянці 2-4:

$$\delta h_1 = \frac{21,45 - 18,5436}{3,7 + 0,19} = 0,5906 \text{ мм}$$

Приймаємо товщину заднього кінця розкату:

$$h'_5 = 15,49 + 0,5906 = 16,0806 \text{ мм}$$

$$\Delta h = 28 - 16,086 = 11,9194 \text{ мм}$$

$$\varepsilon = 0,4257$$

$$u = \frac{1450 \cdot 0,42}{\sqrt{300 \cdot 11,9194}} = 10,322 \text{ с}^{-1}$$

Так як $16,0889 - 16,0806 = 0,0083 \geq \pm 0,003 \text{ мм}$ продовжуємо ітерацію.

Для четвертої ітерації:

$$N_1 = 0,18 + 0,21 + 0,47 = 0,86\%;$$

$$\sigma_{T0} = 80 + 25 \left\{ 1 - [(5 - 0,86) / 4,5]^{1,8} \right\} = 83,5 \text{ Н} / \text{мм}^2;$$

$$k_i = 1,66 - 1,1(960,24 / 400 - 2)^{0,7} = 1,22;$$

$$k_\varepsilon = 1 + 0,43 \left[1 - 6,3(0,5 - 0,4257)^2 \right] = 1,4150;$$

$$k_u = 0,38 + 0,065(7 + \ln 10,322) = 0,9867;$$

$$\sigma_T = 83,5 \cdot 0,9867 \cdot 1,4150 \cdot 1,22 = 142,059 \text{ Н} / \text{мм}^2;$$

Втрати тепла в кліті № 5 від контакту металу з валками:

$$\Delta t_B = \frac{0,0183(960,24 - 60)\sqrt{1,06/1,45}}{28 + 16,0806} \sqrt{300 \cdot \arccos\left(1 - \frac{11,9194}{600}\right)} = 17,5^\circ\text{C}$$

Розігрів штаби за рахунок тепла, що виділяється при пластичної деформації в кліті:

$$\Delta t_{d5} = 0,428 \cdot 291,9 \cdot \lg(28/16,0806) \approx 29,2^\circ\text{C}.$$

Температура заднього кінця штаби на виході з кліті № 5 дорівнює:

$$t_5 = 960,24 - 17,5 + 29,2 = 971,94^\circ\text{C}.$$

Втрати тепла на випромінювання:

$$\Delta t_{ui} = 19,5 \frac{(971,94 + 273)^4 \cdot 6}{1,45 \cdot 16,0806} \cdot 10^{-12} = 10,15^\circ\text{C}$$

Температура заднього кінця розкату перед кліттю №6:

$$t'_6 = 971,94 - 10,15 = 961,79^\circ\text{C}$$

Коефіцієнт тертя:

$$f_0 = 0,27 - 0,1 \left(\frac{961,79}{400} - 2 \right)^2 = 0,26;$$

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

$$k_V = 0,76 + 0,82 (1,0 - 0,1 \cdot 1,45)^2 = 1,35$$

$$k_B = 1,2; k_{cm} = 1,0; k_M = 1,0$$

$$f = 0,26 \cdot 1,04 \cdot 1,35 \cdot 1,2 \cdot 1 \cdot 1 = 0,42$$

$$f_{\pi} = 0,42 \cdot (0,92 + 1,27 \cdot 0,43) = 0,61$$

$$l_d = \sqrt{300 \cdot 11,9194} = 59,79 \text{ мм}$$

$$h_{CP} = \frac{28 + 16,0806}{2} = 22,0403 \text{ мм}$$

$$p'_{CP} = 1,15 \cdot 142,059 \cdot (1 + 0,48 \cdot 0,61 \cdot 2,7113) = 308,5288 \text{ Н/мм}^2$$

$$p_{CP} = 308,5288 \cdot \left(1 - \frac{15}{308,5288} \right) = 293,5288 \text{ Н/мм}^2$$

Зусилля прокатки:

$$P = 293,5288 \cdot 0,0612 \cdot 1,2 = 21,5288 \text{ МН};$$

Момент прокатки:

$$M = 2 \cdot 0,37 \cdot 21,5288 \cdot 59,79 = 0,952 H \cdot м.$$

Потужність прокатки:

$$N = 960 \cdot 0,952 \cdot 1,45 / 300 = 4419 \text{ кВт.}$$

Модуль жорсткості штаби в точці 4:

$$M_{п4} = \frac{21,5288 \cdot 0,8923}{11,9194} = 1,6116 H / мм;$$

$$\varphi_i = (0,57 + 0,62 \cdot 0,4257) \left[1 + 0,023 \cdot \left(\frac{300}{28} \right)^{0,5} \right] = 0,8923$$

$$\delta M_{п} = 1,6116 - 1,35 = 0,2627 H / мм^2$$

Зміна товщини штаби на ділянці 2-4:

$$\delta h_1 = \frac{21,5288 - 18,5436}{3,7 + 0,2627} = 0,7533 мм$$

Приймаємо товщину заднього кінця розкату:

$$h'_5 = 15,49 + 0,7533 = 16,2433 мм$$

$$\Delta h = 28 - 16,2433 = 11,7567 мм$$

$$\varepsilon = 0,4199$$

$$u = \frac{1450 \cdot 0,4199}{\sqrt{300 \cdot 11,7567}} = 10,25 c^{-1}$$

Так як $16,2433 - 16,0806 = 0,1627 \geq \pm 0,003 мм$ продовжуємо ітерацію.

Для п'ятої ітерації.

$$N_1 = 0,18 + 0,21 + 0,47 = 0,86\%;$$

$$\sigma_{T0} = 80 + 25 \left\{ 1 - [(5 - 0,86) / 4,5]^{1,8} \right\} = 83,5 H / мм^2;$$

$$k_t = 1,66 - 1,1(960,24 / 400 - 2)^{0,7} = 1,22;$$

$$k_\varepsilon = 1 + 0,43 \left[1 - 6,3(0,5 - 0,4199)^2 \right] = 1,4126;$$

$$k_u = 0,38 + 0,065(7 + \ln 10,25) = 0,9863;$$

$$\sigma_T = 83,5 \cdot 0,9863 \cdot 1,4126 \cdot 1,22 = 141,7562 H / мм^2;$$

Втрати тепла в кліті № 5 від контакту металу з валками:

$$\Delta t_B = \frac{0,0183(960,24-60)\sqrt{1,06/1,45}}{28+16,2433} \sqrt{300 \cdot \arccos\left(1 - \frac{11,7567}{600}\right)} = 16,9^\circ\text{C}$$

Розігрів штаби за рахунок тепла, що виділяється при пластичної деформації в кліті:

$$\Delta t_{d5} = 0,428 \cdot 293,5288 \cdot \lg(28/16,2433) \approx 29,6^\circ\text{C}.$$

Температура заднього кінця штаби на виході з кліті № 5 дорівнює:

$$t_5 = 960,24 - 16,9 + 29,6 = 972,94^\circ\text{C}.$$

Втрати тепла на випромінювання:

$$\Delta t_{ui} = 19,5 \frac{(972,94 + 273)^4 \cdot 6}{1,45 \cdot 16,2433} \cdot 10^{-12} = 12,2^\circ\text{C}$$

Температура заднього кінця розкату перед кліттю №6:

$$t'_6 = 972,94 - 12,2 = 960,74^\circ\text{C}$$

Коефіцієнт тертя:

$$f_0 = 0,27 - 0,1 \left(\frac{960,74}{400} - 2 \right)^2 = 0,26;$$

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

$$k_V = 0,76 + 0,82 (1,0 - 0,1 \cdot 1,45)^2 = 1,35$$

$$k_B = 1,2; k_{cm} = 1,0; k_M = 1,0$$

$$f = 0,26 \cdot 1,04 \cdot 1,35 \cdot 1,2 \cdot 1 \cdot 1 = 0,42$$

$$f_{\pi} = 0,42 \cdot (0,92 + 1,27 \cdot 0,4199) = 0,61$$

$$l_d = \sqrt{300 \cdot 11,7567} = 59,3886 \text{ мм}$$

$$h_{CP} = \frac{28 + 16,2433}{2} = 22,1216 \text{ мм}$$

$$p'_{CP} = 1,15 \cdot 141,7562 \cdot (1 + 0,48 \cdot 0,61 \cdot 2,6846) = 306,16 \text{ Н/мм}^2$$

$$p_{CP} = 306,16 \left(1 - \frac{15}{306,16} \right) = 291,1631 \text{ Н/мм}^2$$

Зусилля прокатки:

$$P = 291,1631 \cdot 0,0612 \cdot 1,2 = 21,383 \text{ МН};$$

Момент прокатки:

$$M = 2 \cdot 0,37 \cdot 21,383 \cdot 59,3 = 0,938 H \cdot m.$$

Потужність прокатки:

$$N = 960 \cdot 0,938 \cdot 1,45 / 300 = 4353 \text{ кВт.}$$

Модуль жорсткості штаби в точці 4:

$$M_{п4} = \frac{21,383 \cdot 0,8856}{11,7567} = 1,6159 \text{ MN / мм};$$

$$\varphi_i = (0,57 + 0,62 \cdot 0,4199) \left[1 + 0,023 \cdot \left(\frac{300}{28} \right)^{0,5} \right] = 0,8856$$

$$\delta M_{п} = 1,6159 - 1,35 = 0,27 \text{ H / мм}^2$$

Зміна товщини штаби на ділянці 2-4:

$$\delta h_1 = \frac{21,383 - 18,5436}{3,7 + 0,27} = 0,7158 \text{ мм}$$

Приймаємо товщину заднього кінця розкату:

$$h'_5 = 15,49 + 0,7157 = 16,2058 \text{ мм}$$

$$\Delta h = 28 - 16,2057 = 11,7942 \text{ мм}$$

$$\varepsilon = 0,4212$$

$$u = \frac{1450 \cdot 0,4212}{\sqrt{300 \cdot 11,7942}} = 10,267 \text{ с}^{-1}$$

Так як $16,2433 - 16,2058 = 0,0375 \geq \pm 0,003 \text{ мм}$ продовжуємо ітерацію.

Для шостої ітерації.

$$N_1 = 0,18 + 0,21 + 0,47 = 0,86\%;$$

$$\sigma_{Ta} = 80 + 25 \left\{ 1 - [(5 - 0,86) / 4,5]^{1,8} \right\} = 83,5 \text{ МПа};$$

$$k_t = 1,66 - 1,1(960,24 / 400 - 2)^{0,7} = 1,22;$$

$$k_\varepsilon = 1 + 0,43 \left[1 - 6,3(0,5 - 0,4212)^2 \right] = 1,4132;$$

$$k_u = 0,38 + 0,065(7 + \ln 10,267) = 0,9864;$$

$$\sigma_T = 83,5 \cdot 0,9864 \cdot 1,4132 \cdot 1,22 = 141,8323 \text{ H / мм}^2;$$

Втрати тепла в кліті № 5 від контакту металу з валками:

$$\Delta t_B = \frac{0,0183(960,24 - 60)\sqrt{1,06/1,45}}{28 + 16,2058} \sqrt{300 \cdot \arccos \left(1 - \frac{11,7942}{600} \right)} = 16,9^\circ \text{C}$$

Розігрів штаби за рахунок тепла, що виділяється при пластичної деформації в кліті:

$$\Delta t_{d5} = 0,428 \cdot 291,16 \cdot \lg (28/16,2058) \approx 29,4^{\circ}\text{C}.$$

Температура заднього кінця штаби на виході з кліті № 5 дорівнює:

$$t_5 = 960,24 - 16,9 + 29,4 = 972,74^{\circ}\text{C}.$$

Втрати тепла на випромінювання:

$$\Delta t_{ui} = 19,5 \frac{(972,7 + 273)^4 \cdot 6}{1,45 \cdot 16,2058} \cdot 10^{-12} = 12,1^{\circ}\text{C}$$

Температура заднього кінця розкату перед кліттю №6:

$$t'_6 = 972,74 - 12,1 = 960,64^{\circ}\text{C}$$

Коефіцієнт тертя:

$$f_0 = 0,27 - 0,1 \left(\frac{960,74}{400} - 2 \right)^2 = 0,26;$$

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

$$k_V = 0,76 + 0,82 (1,0 - 0,1 \cdot 1,45)^2 = 1,35$$

$$k_B = 1,2; k_{cm} = 1,0; k_M = 1,0$$

$$f = 0,26 \cdot 1,04 \cdot 1,35 \cdot 1,2 \cdot 1 \cdot 1 = 0,42$$

$$f_{\Pi} = 0,42 \cdot (0,92 + 1,27 \cdot 0,4212) = 0,61$$

$$l_d = \sqrt{300 \cdot 11,7942} = 59,4833 \text{ мм}$$

$$h_{CP} = \frac{28 + 16,2058}{2} = 22,1029 \text{ мм}$$

$$p'_{CP} = 1,15 \cdot 141,8323 \cdot (1 + 0,48 \cdot 0,61 \cdot 2,6912) = 306,6 \text{ Н / мм}^2$$

$$p_{CP} = 306,6 \left(1 - \frac{15}{306,6} \right) = 291,6328 \text{ Н / мм}^2$$

Зусилля прокатки:

$$P = 291,6328 \cdot 0,0612 \cdot 1,2 = 21,4175 \text{ МН};$$

Момент прокатки:

$$M = 2 \cdot 0,37 \cdot 21,417 \cdot 59,4 = 0,941 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Потужність прокатки:

$$N = 960 \cdot 0,941 \cdot 1,45 / 300 = 4368 \text{ кВт.}$$

Модуль жорсткості штаби в точці 4:

$$M_{\pi 4} = \frac{21,4175 \cdot 0,8866}{11,7942} = 1,616 \text{ МН / мм};$$

$$\varphi_i = (0,57 + 0,62 \cdot 0,4212) \left[1 + 0,023 \cdot \left(\frac{300}{28} \right)^{0,5} \right] = 0,8866$$

$$\delta M_{\pi} = 1,616 - 1,35 = 0,266 \text{ Н / мм}^2$$

Зміна товщини штаби на ділянці 2-4:

$$\delta h_1 = \frac{21,4175 - 18,5436}{3,7 + 0,266} = 0,7246 \text{ мм}$$

Приймаємо товщину заднього кінця розкату:

$$h'_5 = 15,49 + 0,7246 = 16,2146 \text{ мм}$$

$$\Delta h = 28 - 16,2146 = 11,7854 \text{ мм}$$

$$\varepsilon = 0,4209$$

$$u = \frac{1450 \cdot 0,42109}{\sqrt{300 \cdot 11,7854}} = 10,264 \text{ с}^{-1}$$

Так як $16,2058 - 16,2146 = -0,0088 \geq \pm 0,003 \text{ мм}$ продовжуємо ітерацію.

Для сьомої ітерації.

$$N_1 = 0,18 + 0,21 + 0,47 = 0,86\%;$$

$$\sigma_{T\bar{6}} = 80 + 25 \left\{ 1 - [(5 - 0,86) / 4,5]^{1,8} \right\} = 83,5 \text{ Н / мм}^2;$$

$$k_t = 1,66 - 1,1(960,24 / 400 - 2)^{0,7} = 1,22;$$

$$k_{\varepsilon} = 1 + 0,43 \left[1 - 6,3(0,5 - 0,4209)^2 \right] = 1,4131;$$

$$k_u = 0,38 + 0,065(7 + \ln 10,264) = 0,9864;$$

$$\sigma_T = 83,5 \cdot 0,9864 \cdot 1,4131 \cdot 1,22 = 141,8192 \text{ Н / мм}^2;$$

Втрати тепла в кліті № 5 від контакту металу з валками:

$$\Delta t_B = \frac{0,0183(960,24 - 60)\sqrt{1,06/1,45}}{28 + 16,2146} \sqrt{300 \cdot \arccos \left(1 - \frac{11,7854}{600} \right)} = 16,9^\circ \text{C}$$

Розігрів штаби за рахунок тепла, що виділяється при пластичної деформації в кліті:

$$\Delta t_{d5} = 0,428 \cdot 291,63 \cdot \lg (28/16,2146) \approx 29,4^{\circ}\text{C}.$$

Температура заднього кінця штаби на виході з кліті № 5 дорівнює:
 $t_5 = 960,24 - 16,9 + 29,4 = 972,74^{\circ}\text{C}.$

Втрати тепла на випромінювання:

$$\Delta t_{ui} = 19,5 \frac{(972,74 + 273)^4 \cdot 6}{1,45 \cdot 16,2058} \cdot 10^{-12} = 12,1^{\circ}\text{C}$$

Температура заднього кінця розкату перед кліттю №6:

$$t'_6 = 972,74 - 12,1 = 960,64^{\circ}\text{C}$$

Коефіцієнт тертя:

$$f_0 = 0,27 - 0,1 \left(\frac{960,64}{400} - 2 \right)^2 = 0,26;$$

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

$$k_V = 0,76 + 0,82 (1,0 - 0,1 \cdot 1,45)^2 = 1,35$$

$$k_B = 1,2; k_{cm} = 1,0; k_M = 1,0$$

$$f = 0,26 \cdot 1,04 \cdot 1,35 \cdot 1,2 \cdot 1 \cdot 1 = 0,42$$

$$f_{\Pi} = 0,42 \cdot (0,92 + 1,27 \cdot 0,4209) = 0,61$$

$$l_d = \sqrt{300 \cdot 11,7854} = 59,461 \text{ мм}$$

$$h_{CP} = \frac{28 + 16,2146}{2} = 22,1073 \text{ мм}$$

$$p'_{CP} = 1,15 \cdot 141,8192 \cdot (1 + 0,48 \cdot 0,61 \cdot 2,6897) = 306,53 \text{ Н / мм}^2$$

$$p_{CP} = 306,53 \left(1 - \frac{15}{306,53} \right) = 291,5323 \text{ Н / мм}^2$$

Зусилля прокатки:

$$P = 293,5323 \cdot 0,0612 \cdot 1,2 = 21,4101 \text{ МН};$$

Момент прокатки:

$$\dot{I} = 2 \cdot 0,37 \cdot 21,4101 \cdot 59,4 = 0,941 \dot{I} \cdot \dot{i}.$$

Потужність прокатки:

$$N = 960 \cdot 0,941 \cdot 1,45 / 300 = 4366 \text{ кВт}.$$

Модуль жорсткості штаби в точці 4:

$$M_{\pi 4} = \frac{21,4175 \cdot 0,8932}{11,7942} = 1,6163 \text{ МН / мм};$$

$$\varphi_i = (0,57 + 0,62 \cdot 0,4209) \left[1 + 0,023 \cdot \left(\frac{300}{28} \right)^{0,5} \right] = 0,8932$$

$$\delta M_{\pi} = 1,6163 - 1,35 = 0,2663 \text{ Н / мм}^2$$

Зміна товщини штаби на ділянці 2-4:

$$\delta h_1 = \frac{21,4101 - 18,5436}{3,7 + 0,266} = 0,7227 \text{ мм}$$

Так як $16,2146 - 16,2127 = 0,0015 \leq \pm 0,003 \text{ мм}$ отже для розрахунку заднього кінця розкату в кліті №6 приймаємо:

$$h'_5 = 15,49 + 0,7227 = 16,2127 \text{ мм}$$

$$\Delta h = 28 - 16,2127 = 11,7873 \text{ мм}$$

$$\varepsilon = 0,4209$$

Результати ітерації наведені в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3. Товщина штаби по ітерціям для точки 4 кліті №5 при прокатці на ШСГП 1680

№ітерації	H , мм	h , мм	Δh , мм	δh , мм	ε , %	u , c^{-1}	P , МН
1.	28	16,493	11,507	1,003	0,41	10,1	20,9
2.	28	16,0722	11,9278	0,5822	0,42	10,2	20,93
3.	28	16,0889	11,9111	0,5989	0,43	10,4	21,45
4.	28	16,0806	11,9194	0,5906	0,4257	10,322	21,5288
5.	28	16,2433	11,7567	0,7533	0,4199	10,25	21,383
6.	28	16,2058	11,7942	0,7158	0,4212	10,267	21,417
7.	28	16,2146	11,7854	0,7246	0,4209	10,264	21,410
8.	28	16,2127	11,7873	0,7227	0,4209	10,263	21,415

Аналогічно розраховуємо енергосилові параметри прокатки для клітей №№7-10.

3.3.1 Аналіз результатів розрахунку для ШСГП та КПС.

Результати розрахунків енергосилових параметрів прокатки в клітках №№7-10 наведені в таблиці 3.4

Таблиця 3.4. Параметри гарячої прокатки штаби 2,5х1200 мм зі сталі 08кп.

Параметр прокатки	Номер кліті					
	5	6	7	8	9	10
	ШСГП 1680. Участок 2. Передній кінець.					
H, мм	15,49	9,79	6,09	3,99	2,94	2,5
Δh , мм	12,51	5,7	3,7	2,1	1,05	0,44
δh , мм	0	0	0	0	0	0
ε , %	0,44	0,37	0,37	0,34	0,26	0,15
t_H/t_K , °C	990/ 982,2	982,2/ 970,3	970,3/ 958,9	958,9/ 947,2	925,6/ 908,7	-
σ_T , Н/мм ²	120,5	130,91	152,21	172,56	184,04	188,6
$l_d(l_C)$, мм	61,2	41,3	33,31	25,91	18,75	14,39
p_{CP} , Н/мм ²	252,5	250,51	265,88	358,23	366,31	388,73
P, МН	18,54	12,42	10,75	9,45	8,242	6,71
M_{II} , МН·м	1,066	0,545	0,363	0,211	0,084	0,045
N, кВт	5206	4222	4527	3980	2150	818
Параметр прокатки	Номер кліті					
	5	6	7	8	9	10
	ШСГП 1680. Участок 4. Задній кінець.					
H, мм	16,2127	10,4509	6,6448	4,3771	3,1574	2,6955
Δh , мм	11,7873	5,7618	3,0861	2,2677	1,2197	0,4619
δh , мм	0,7227	0,6609	0,5548	0,3871	0,2174	0,1955

$\varepsilon, \%$	0,42	0,36	0,36	0,34	0,27	0,15
$t_H/t_K, ^\circ\text{C}$	960,24/ 953,14	953,14/ 933,17	933,17/ 907,8	907,8/ 896,3	896,6/ 883,4	883,4/ 865,6
$\sigma_T, \text{H/мм}^2$	146,5	205,1	173,9	172,56	215,1	230,47
$l_d(l_C), \text{мм}$	59,4	41,6	30,42	24,08	16,12	11,77
$p_{CP}, \text{H/мм}^2$	308,4	307,75	349,6	398,09	407,5	369,15
$P, \text{МН}$	21,415	15,112	12,589	11,465	7,817	5,214
$M_{П}, \text{МН}\cdot\text{м}$	0,941	0,83	0,55	0,32	0,099	0,041
$N, \text{кВт}$	4366	6430	6854	6036	2534	1243
Параметр прокатки	Номер кліті					
	5	6	7	8	9	10
	КПС. Участок 2. Передній кінець.			КПС. Участок 4. Задній кінець.		
$h, \text{мм}$	15,49	9,79	6,09	3,7186	2,963	2,5896
$\Delta h, \text{мм}$	12,51	5,7	3,7	2,8233	0,973	0,3734
$\delta h, \text{мм}$	0	0	0	-0,2715	-0,1844	-0,1059
$\varepsilon, \%$	0,44	0,37	0,37	0,42	0,26	0,13
$t_H/t_K, ^\circ\text{C}$	990/ 982,2	982,2/ 970,3	970,3/ 958,9	945,3/ 927,8	927,8/ 909,5	909,5/ 889,32
$\sigma_T, \text{H/мм}^2$	120,5	130,91	152,21	150,6	185,7	217,4
$l_d(l_C), \text{мм}$	61,2	41,3	33,31	30,1	17,08	11,58
$p_{CP}, \text{H/мм}^2$	252,5	250,51	265,88	316,8	375,4	401,2
$P, \text{МН}$	18,54	12,42	10,75	11,404	7,658	5,57
$M_{П}, \text{МН}\cdot\text{м}$	1,066	0,545	0,363	0,287	0,054	0,051
$N, \text{кВт}$	5206	4222	4527	5143	1329	1482

На основі отриманих даних були побудовані графіки розподілу температури, середнього нормального контактного напруження, моменту

прокатки, сили прокатки, потужності, поздовжньої різнотовщинності показані на рис. 3.3 - рис.3.8.



Рис.3.3. Розподіл температури по клітям стану

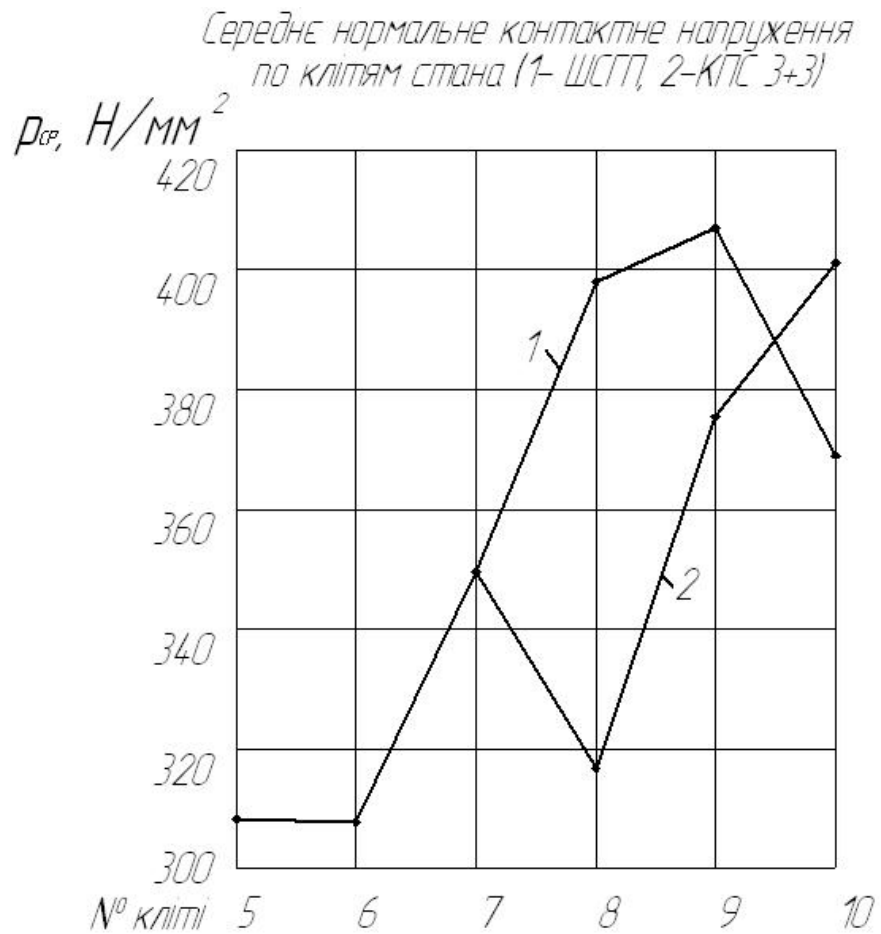


Рис.3.4. Розподіл середнього нормального контактного напруження по клітям стану.

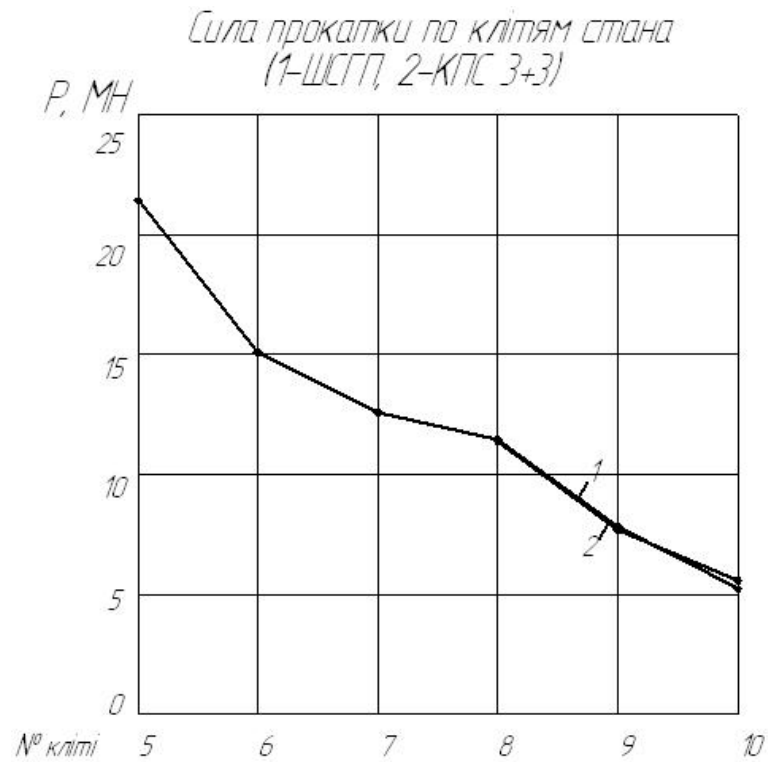


Рис.3.5. Розподіл сили прокатки по клітях стану.

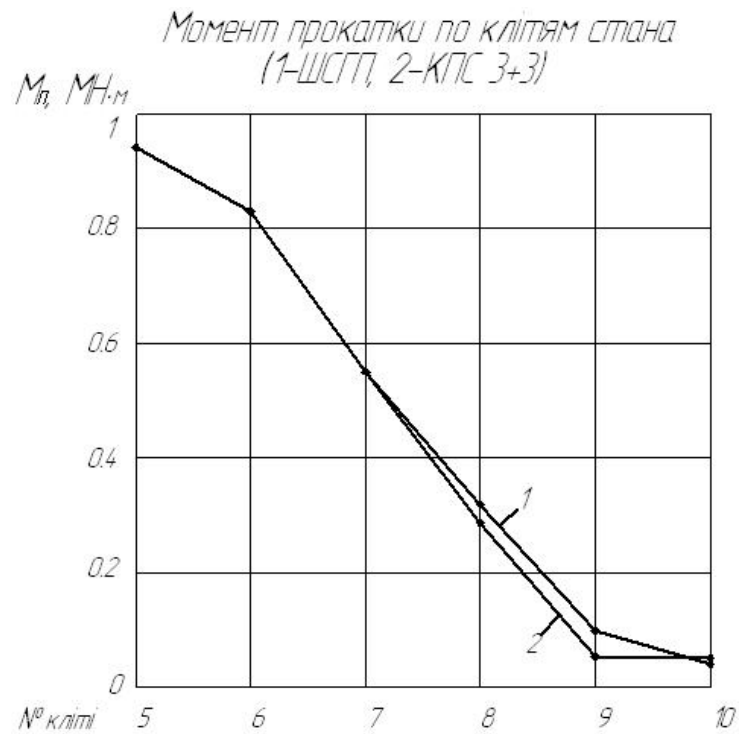


Рис.3.6. Розподіл моменту прокатки по клітях стану.

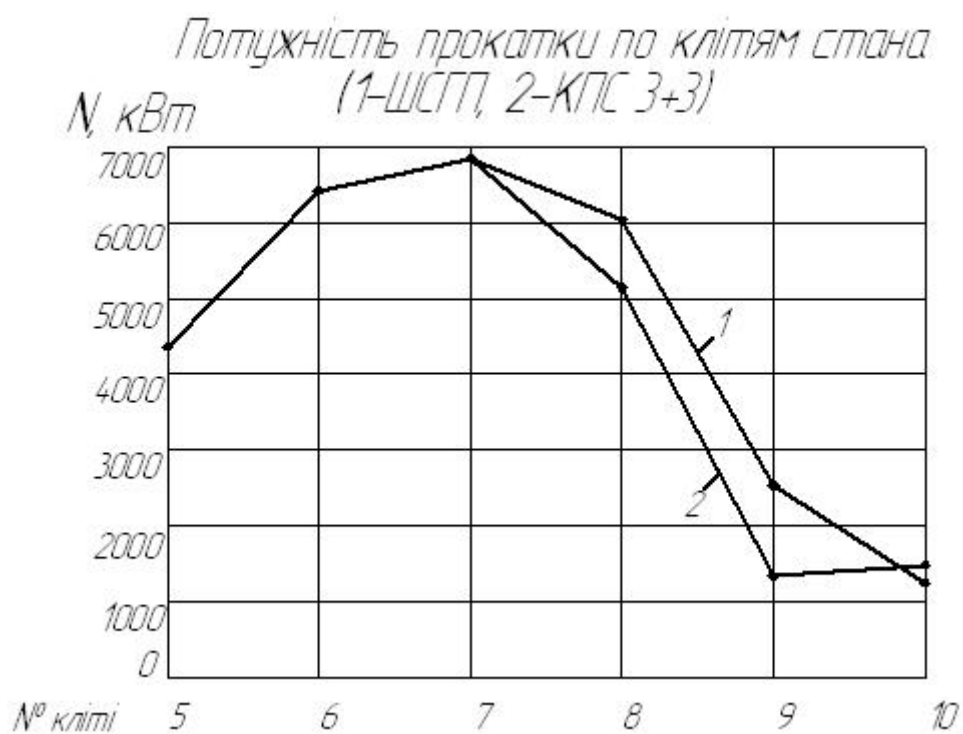


Рис.3.7. Розподіл потужності прокатки по клітях стану

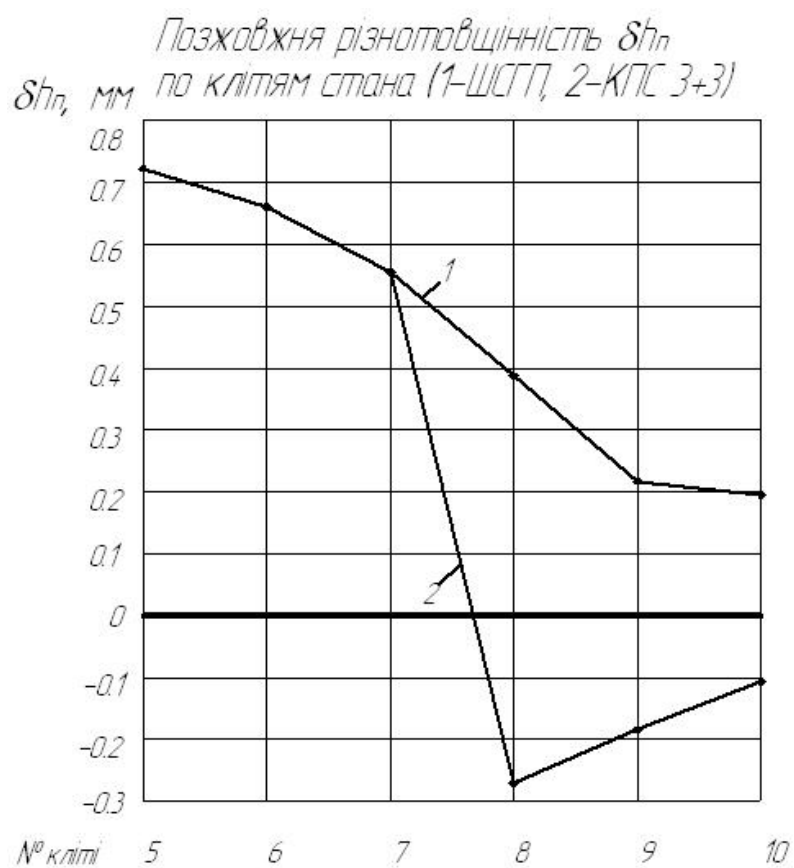


Рис. 3.8. Розподіл поздовжньої різнотовщинності по клітям стану.

3.3.2. Розрахунок економічної ефективності при прокатці на ШСГП та КПС.

Для розрахунку економічної ефективності приймаємо річний обсяг виробництва гарячекатаного металу 3,1 млн. тонн.

Таблиця 3.5 Вихідні данні для розрахунку

Календарний час	365 сут
Тривалість ППР	12 сут
Поточні простої	6,25%
Вартість тонни металу	21000 грн/т

Визначаємо номінальний час роботи прокатного стану:

$$НВ_{сут\ б} = KB - KP - ППР, \text{ діб}; \quad (3.33)$$

$$НВ_{сут\ б} = 365 - 12 = 353 \text{ діб}.$$

Визначаємо номінальний час в годинах:

$$НВ_{час\ б} = НВ_{сут\ б} \cdot 24; \quad (3.34)$$

$$НВ_{час\ б} = 353 \cdot (24 - 1,5) = 7594 \text{ год}.$$

Визначаємо поточні простої в годинах:

$$ТП_{час\ б} = (НВ_{час\ б} \cdot \%ТП) / 100\%; \quad (3.35)$$

$$ТП_{час\ б} = (7594 \cdot 6,25) / 100 = 446 \text{ год}.$$

Визначаємо фактичний час роботи прокатного стану:

$$\Phi B_{б} = НВ_{час\ б} - ТП_{час\ б}; \quad (3.36)$$

$$\Phi B_{б} = 7594 - 446 = 7148 \text{ час}.$$

Визначаємо річний обсяг виробництва:

$$V_{б} = П_{ср\ час} \cdot \Phi B_{б}; \quad (3.37)$$

Вартість катаного металу в рік:

$$C_M = V_{б} \cdot Ц_{тм}; \quad (3.38)$$

$$C_M = 3,1 \cdot 21000 = 651 \text{ млн. грн/рік}.$$

Розрахунок виробничої програми табору ШСГП при прокатці штаби 2,5x1200 мм. Довжина потовщеного кінця штаби становить 42 м.

Площа розкату:

$$F = \frac{1}{2} \cdot \delta h_{\Pi} \cdot L_{10}, \quad (3.39)$$

де δh_{Π} - поздовжня різнотовщинність; L_{10} - довжина потовщеної ділянки штаби.

$$F = \frac{1}{2} \cdot 0,01955 \cdot 420 = 4,1 \text{ см}^2.$$

Обсяг зайвого металу:

$$V = F \cdot B, \quad (3.40)$$

де B - ширина штаби.

$$V = 4,1 \cdot 120 = 492 \text{ см}^3.$$

Вага відходу:

$$G = V \cdot \rho, \quad (3.41)$$

де ρ - щільність металу ($\rho = 7,85 \text{ г / см}^3$).

$$G = 492 \cdot 7,85 = 412,5 \text{ кг} = 0,0386 \text{ т}.$$

Годинна продуктивність:

$$\text{ЧП} = \frac{3600 \cdot G}{T_{\Pi}} \quad (3.42)$$

де G - вага зайвого металу, т; T_{Π} - час прокатки, с.

$$T_{\Pi} = t_M + t_{\Pi},$$

де t_M - машинний час, с; t_{Π} - час паузи, с.

$$t_M = L_{10} / V_{10},$$

де L_{10} - довжина розкату після 10 кліті, м; V_{10} - швидкість прокатки в кліті №10, м/с.

$$t_M = 448 / 9 = 49,8 \text{ с}.$$

$$T_{\Pi} = 49,8 + 7 = 56,8 \text{ с}.$$

Годинна продуктивність:

$$\text{ЧП} = \frac{3600 \cdot 0,0382}{56,8} = 2,42 \text{ т/час}$$

Визначаємо річний обсяг виробництва:

$$V_6 = 2,42 \cdot 7148 = 17056,2 \text{ т.}$$

Вартість катаного металу в рік:

$$C_M = 17056,2 \cdot 21000 = 358 \text{ млн. грн/рік.}$$

Розрахунок виробничої програми КПС.

$$F = \frac{1}{2} \cdot 0,01059 \cdot 420 = 2,22 \text{ см}^2.$$

Обсяг металу, що прокатується:

$$V = 2,22 \cdot 120 = 266,2 \text{ см}^3.$$

Вага зайвого металу:

$$G = 266,2 \cdot 7,85 = 0,028 \text{ т.}$$

Годинна продуктивність:

$$\text{ЧП} = \frac{3600 \cdot 0,0223}{56,8} = 1,41 \text{ т/час}$$

Визначаємо річний обсяг виробництва:

$$V_6 = 1,41 \cdot 7148 = 10078,4 \text{ т.}$$

Вартість катаного металу в рік:

$$C_M = 10078,4 \cdot 21000 = 211,6 \text{ млн. грн/рік.}$$

Економічний ефект від впровадження нової технології прокатки складе:

$$\text{Эк} = C_{\text{м.шсгп}} + C_{\text{м.кпс}} = 358 + 211,6 = 569,6 \text{ млн. грн/рік.}$$

4. Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях

В розділі надані основні заходи з охорони праці при технології безперервної гарячої прокатки штаб зі зменшеними кінцевими потовщеннями в умовах ПАТ Запоріжсталь.

4.1. Аналіз потенційних небезпек

а) Незадовільна організація робочого міста дослідника в адміністративному приміщенні, в наслідок специфіки праці, зокрема негативний вплив напруженості праці може призвести до випадків травматизму.

б) Можливість ураження електричним струмом головними причинами ураження можуть бути: невиконання правил електробезпеки, несправність енергоспоживчого обладнання, що може призвести до електричних травм або летального наслідку.

в) Небезпеки які пов'язані з перебуванням на виробничій ділянці, зокрема підвищені рівні запиленості, загазованості, шуму що може призвести до зниження працездатності.

г) Небезпеки які пов'язані зі зміною тиску при безперервній гарячій прокатці.

д) Негативний вплив теплового випромінювання при надходженні в робочій зоні при прокатці штабу.

е) Небезпеки які пов'язані зі створенням технічного процесу з ПК.

є) Незадовільні параметри повітряного середовища в адміністративному приміщенні. Причинами яких є незадовільна робота систем повітрообміну, що може призвести до зниження комфортності праці та загальних захворювань.

ж) Підвищений рівень вібрації внаслідок специфіки виробничих процесів при знаходженні на виробничій ділянці

з) Можливість загорянь внаслідок порушень правил пожежної безпеки.

и) Небезпеки які пов'язані з умовами праці у надзвичайних ситуаціях.

4.2. Заходи по забезпеченню техніки безпеки

За ГОСТ 12.2.032-784 « СС. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования» конструкція робочого місця повинна забезпечувати оптимальне положення співробітника, що досягається за рахунок регулювання висоти сидіння та підставки для ніг. Підставка для ніг повинна регулюватися по висоті. Ширина повинна бути не менше 300мм, довжина – не менш 400мм, Поверхня підставки повинна бути рифленою. По передньому краю слід передбачати бортик висотою 10 мм. Важливим фактором є простір під столом, його має бути досить, щоб можна було зручно згинати та розгинати коліна. Стіл повинен мати криволінійну форму. Крісло повинно забезпечити фізіологічно раціональну робочу позу, при якій не порушується циркуляція крові і не було іншого шкідливого впливу. Для цього необхідно, щоб у крісла 101етал пружна спинка анатомічної форми, яка зменшить навантаження на хребет. Також крісло обов'язково повинно бути з підлокітниками і мати можливість повороту, зміни висоти кута нахилу сидіння й спинки. Монитор повинен розташовуватися на робочому столі прямо, і віддаленням від очей мінімум на 50-60 см. Верхня границя екрану повинна бути на рівні очей або не нижча 13 см від рівня очей. Клавіатура повинна розташовуватися в 10-15 см (в залежності від довжини ліктя) від краю стола. Глибина стола повинна дозволяти повністю положити лікті на стіл, відсунути клавіатуру до монітора.

Б) 3 метою виключення випадків ураження електричним струмом передбачено: Організаційні заходи – до виконання робіт допускаються особи не молодше 18 років. Які пройшли навчання, та перевірку знань з

електробезпекн. Основним нормативним актом є ПУЄ-2013 (правила устрою електрообладнання). Ремонт обладнання повинен здійснювати тільки спеціально підготовлений персонал. Для кожного електроспоживчого обладнання повинно бути складені експлуатаційні схеми нормальної і аварійної роботи.

Технічні заходи – розташування струмоведучих частин на недоступній висоті (до 1000В), не менше 3,5 м (більше 1000В- 6м). Всі не ізолювані струмопровідні лінії повинні бути надійно огорожені суцільними огорожами. Відкриття або зйом яких можливий тільки за допомогою спеціальних пристроїв. Опір ізоляції електричних дротів повинен бути не менше 0,5 Ом.

Обов'язковим є захисне заземлення або занулення. Обов'язковим є використання індивідуальних засобів захисту, зокрема гумовий діелектричний килимок, опір якого слід періодично перевіряти. Обов'язковим є встановлення автоматичних блокуючих пристроїв, які запобігають небезпечним діям людини, зокрема кінцеві вимикачі. Блокуючи пристрої поділяються на механічні, електричні, та електромеханічні.

В) Прокатне виробництво характеризується складністю і різноманітністю механічного устаткування і технологічних процесів, тому кількість і рівень виробничих чинників залежить від типу стану і умов обробки металу (складу механічного устаткування, калібрування, швидкості прокату, рівня механізації і автоматизації та 102ет.). Розрізняють процеси гарячої і холодної обробки металу тиском. До гарячої прокатки відносяться обтискові (блюмінги, слябінги), сортові (крупно-, середньо і 102еталлу102ортні) і листові (товсто- і тонколистові) стани.

На станах гарячої прокатки можна виділити дві основні ділянки: відділення нагрівальних пристроїв і становий проліт, де встановлені робочі кліті. Відділення нагрівальних пристроїв характеризується наявністю таких шкідливих чинників на робочих місцях, як запиленість, загазованість, теплові випромінювання і шум. Основні забруднювачі повітряного середовища

нічних відділень – це пил і окисел вуглецю. Загальна питома кількість окислу вуглецю, що виділяється технологічним устаткуванням в робочу зону, може складати до 200 г/т прокату, а пил – до $0,27 \text{ г/м}^2$ прокатуваного листа. По фактичних вимірах вміст окислу вуглецю на робочих місцях нагрівальника 103еталлу складає в середньому, $13,4 \text{ мг/м}^3$ а вміст залізорудного пилу – $11,8 \text{ мг/м}^3$.

Розрахунок повітря обміну за умови виділення шкідливих речовин, що надходять у робочу зону з метою розбавлення їх до гранично допустимих концентрацій:

$$L_v = \frac{G_{\text{твр}} \cdot 3600}{q_{\text{ндк}} - q_n}, \text{ м}^3/\text{с} \quad (4.1)$$

де L_v – кількість приточеного або видаленого повітря, $\text{м}^3/\text{с}$;

$G_{\text{твр}}$ – кількість шкідливих речовин мг/с ;

$q_{\text{ндк}}$ – гранично допустима концентрація речовин;

q_n – концентрація шкідливих речовин в зовнішньому повітрі, що надається в приміщення $q_n = 0,3 \cdot q_{\text{ндк}}$, мг/м^3 .

$$L_v = \frac{1300 \cdot 3600}{5 - 1,5} = 37,14 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Основними джерелами шуму на ділянках нагріву є самі печі, пічні вентилятори і транспортне устаткування. Рівні звукової потужності даного устаткування змінюються від 103 до 114 дБА. На ділянці прокатного стану основним забруднювачем повітряного середовища є пил. Джерелом пилу є прокатуваний метал, робочі кліті та процес різання металу. Окалина утворюється під час робочих валянь, грохоганні і транспортуванні і викидається в атмосферу цеху. Частина цього пилу (10 - 20%) видаляється з цеху через витяжні аераційні ліхтарі, а пил, що залишається, знаходиться в приміщенні цеху в зваженому стані, та осідає на будівельних конструкціях і устаткуванні. Загальна питома кількість пилу, що виділяється у відділенні стану, складає: для листових станів - до 120 г/т або до $1,8 \text{ г/м}^2$ прокатуваного листа. Інтенсивність теплових випромінювань на відкритих робочих місцях робочих клітей складає: в листопрокатних цехах 0,35 - 3,7 кВт/м. Основними

джерелами шуму на станах гарячої прокатки є робочі кліті, машини вогневої зачистки, ножиці для різання прокату, рольганги і холодильники. Рівні звукової потужності даного устаткування змінюються від 97 до 127 дБА. При цьому на листових - 127 дБА.

Надмірний шум робить шкідливий вплив на здоров'я працюючих, сприяє виникненню травматизму і знижує продуктивність праці.

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

Для попередження дії ультразвуку на тих, що працюють пропонують звукоізолювати устаткування або розмістити його в герметичних звукоізолюючих камерах; використовувати інструменти з рукоятками з еластичних матеріалів і застосування засобів індивідуального захисту у вигляді антифонів і спеціальних комбінованих рукавичок з бавовняної тканини і гуми.

- Замінити виробничі процеси, що викликають шум і вібрації, іншими менш галасливими процесами.
- Застосувати звукоізолюючі кожухи для закривання особливо галасливого устаткування.
- Застосувати звукоізолюючі і звукопоглинальні матеріали.
- Використовувати індивідуальні засоби захисту від шуму і вібрації, а також проведення заходів гігієнічного характеру.

Ослаблення рівня шуму може бути досягнуто наступними заходами:

- Для персоналу влаштовують звукоізолюючі кабінки з оглядовими вікнами, крім цього, кабінки обладнані системою кондиціонування повітря.

Для захисту від шумових навантажень на організм людини робітниками використовуються спеціальні вставки "беруши" і проти шумні навушники (ГОСТ 12.4.275-2014).

Для захисту від шуму пропоную:

- Замінити виробничі процеси, що викликають шум, іншими менш галасливими процесами.
- Застосувати звукоізолюючі кожухи для закривання особливо галасливого устаткування.
- Застосувати звукоізолюючі і звукопоглинальні матеріали.
- Використовувати індивідуальні засоби захисту від шуму, а також проведення заходів гігієнічного характеру.

г) До складу чистової групи входять: чистовий окаліноломач та шість робочих клітей "кварто", а також літучі ножиці 28x1550 для обрізки переднього та заднього кінців підкату.

Після виходу розкату з чорнових клітей стану його передній і задній кінці витягнуті у вигляді «мови» і «хвоста». У чистової групі клітей довжина мов і хвостів збільшується відповідно сумарному обтисненню штаби. Розташування мови і хвоста щодо поздовжньої осі розкату буває різним. Якщо мова розташований з правого або лівого боку гуркоту, то, як правило, хвіст розташовується з протилежного боку. Іноді мова і хвіст розташовуються по одну сторону штаби.

Основні причини отримання мов і хвостів:

- Неправильна форма сляба, що надходить до стану. Штаба, прокатана з сляба, що має форму паралелограма, має «язик» та «хвіст», розташовані протилежно. Сляб, що має форму правильної трапеції прокочується в штабу, у якій «язик» та «хвіст» розташовані по одну сторону поздовжньої осі. У штаби, прокатаної зі сляба, що має форму односторонньої трапеції, спостерігається або «язик», або «хвіст».

Наявність «язика» та «хвоста» призводить до наступного:

- Більш холодні, ніж розкат кінці, при прокатці в клітях чистової групи часто залишають відбитки на робочих валках у вигляді вм'ятин, які потім переносяться на поверхню наступних штаб. Тому робочі валки з вм'ятинами повинні замінюватися новими.

- При прокатці в чистовій групі клітей передній кінець штаби в процесі транспортування та змотування в рулони потрапляють в стики вузлів устаткування і штаба «застряє», що призводить до неполадок, простоїв обладнання і, отже, до зниження продуктивності стану.

Щоб попередити подібні явища, передній кінець обрізають на літучих ножицях, встановлених перед чистовим окаліноломателем. При обрізанні переднього охолодженого кінця штаби усувається можливість отримання відбитків на робочих валках, що покращує якість поверхні штаби і збільшує термін служби валків. Особливо це відноситься до розкатів, призначених для прокатки в штаби товщиною до 2,5-3,0 мм. З метою економії металу величина обрізу повинна бути мінімальною.

Після обрізки на ножицях переднього кінця розкат проходить через чистовий окаліноломатель, що забезпечує обтиснення до 5%. Така величина обтиснення цілком достатня для виламування шару вторинної окалини.

Так як штаба при проході через окаліноломатель знаходиться одночасно в одній або декількох робочих клітках чистової групи, швидкість обертання валків окаліноломателя повинна бути встановлена відповідно до швидкостями прокатки в інших клітках чистової групи. Необхідною умовою нормальної прокатки в чистовій групі є сталість секундних обсягів металу по кліткам.

Так як ширина штаби практично не змінюється, то рівність секундних обсягів буде виконуватися і виглядати наступним чином:

$$V_{\bar{i}} \cdot h_{\bar{i}} = V_i \cdot h_i$$

де h - товщина розкату, що виходить з робочих валків чистової групи, n - порядковий номер кліті; V - швидкість виходу штаби з валків у відповідних клітках. Відповідно, швидкість виходу штаби на кожній наступній кліті дорівнює:

$$V_n = V_{(n-1)} \cdot h_{(n-1)} / h_n$$

На посту управління чистовою групою встановлені прилади - тахометри, що показують число обертів робочих валків. При відомих діаметрах валків неважко за показаннями тахометрів визначити окружні швидкості робочих валків чистової групи.

Секундні обсяги металу по клетям, обчислені за дійсними швидкостями, будуть відрізнятися від секундних обсягів металу, обчислених по окружним швидкостям, так як в останньому випадку не враховано випередження. Величина випередження по клетям різна.

Залежно від довжини штаби і відстані між клітьми розкат прокочують одночасно в двох або більше клітьх чистової групи. Практично при прокатці слябів подвійної довжини розкат знаходиться одночасно у всіх клітьх чистової групи.

Недотримання рівності секундних обсягів металу в чистовий групі стану викликає неполадки в роботі стану. При збільшенні секундного обсягу в одній з клітей виникає петля металу між цією і наступною кліттю, причому надмірне наростання петлі призводить до застрявання розкату в клітьх чистової групи. В цьому випадку зупиняють стан і розрізають розкат автогеном на окремі короткі шматки, видаляючи його з валків. Застрявання штаби призводить до тривалих простоїв стану і втрати металу як за рахунок застряглого гуркоту, так і наступних гуркотів, виданих з печей і прокатаних в чорновій групі. Іноді застрявання штаби в чистовий групі призводить до більш тяжких наслідків - штаба, складаючись в петлі і потрапляючи в валки, створює надмірні тиску, що тягне за собою поломку валків.

Слід також зазначити, що штаби по довжині мають неоднакову товщину. Наявність поздовжньої різнотовщинності призводить до додаткової втрати металу або в разі, якщо разнотолщинність вище допусків, до браку.

Фактичне граничне відхилення по ширині не повинно перевищувати - + 20-30 мм.

Відхилення від площинності штаб товщиною від 2,0 до 3,9 мм не повинно перевищувати 15 мм, а для штаб товщиною від 4,0 до 9,0 мм - 12 мм на довжині 1 м сталі, що поставляється в листах.

Телескопичність рулонів не повинна перевищувати 100 мм для штаби товщиною 2,0 - 2,5 мм і 70 мм для штаби товщиною 2,6 - 9,0 мм.

Різнотовщинність кінців, виміряна на відстані 5 і 40 мм від кромки, не повинна перевищувати 0,10 мм.

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

Основними причинами, що викликають подовжню різнотовщинність штаби є:

- Нерівномірна температура по довжині розкату.
- Прокатка штаби в чистовій групі стану з неприпустимим за величиною натягом.

Крім основних причин, поздовжня різнотовщинність може пояснюватися «биттям» підшипників кочення опорних валків, зміною хімічного складу сталі по довжині сляба, охолодженням ділянок штаби, що знаходяться на глісажні трубах при нагріванні в методичних печах.

Умови нагрівання і прокатки слябів визначають нерівномірне температуру по довжині сляба. Температура падає від переднього кінця сляба до заднього, причому інтенсивність падіння у заднього кінця вище. Температура заднього кінця на 50-60 градусів нижче температури середній частині штаби, що за інших рівних умов збільшує опір металу деформації. При проходженні цих ділянок в валках, внаслідок зростання тиску металу на валки, збільшується зазор в кліті і, отже, товщина штаби, що виходить з валків, підвищується. Таким чином, якщо поздовжня різнотовщинність визначається впливом тільки температури, то збільшення товщини штаби буде відповідати зменшенню температури, тобто при цьому товщина штаби буде збільшуватися від переднього кінця до заднього.

Розглянемо 4 умови прокатки для з'ясування впливу натягу:

- Прокатка штаби без натягу. Прокочується штаба в першій кліті безперервної групи до входу переднього кінця штаби в наступну кліть і в останній кліті при виході заднього кінця штаби з попередньої кліті.

- Прокатка штаби з заднім натягом. У цих умовах прокочується штаба в першій кліті безперервної групи, якщо до переднього кінця докладено натяг з боку однієї або декількох наступних клітей.

- Прокатка штаби з заднім натягом. Штаба прокочується в останній кліті безперервної групи, якщо до заднього кінця докладено натяг з боку однієї або декількох попередніх клітей. Прокатка штаби з переднім і заднім натягом. Штаба прокочується у всіх клітях безперервного групи, крім першої та останньої, якщо до переднього заднім кінців штаби докладено натяг з боку наступних і попередніх клітей.

Співвідношення швидкості виходу штаби з валків і швидкості входу чисельно дорівнює коефіцієнту витяжки.

При зміні швидкості виходу змінюється швидкість входу металу у валки. При виникненні натягу штаби швидкості входу і виходу штаби змінюються у всіх клітях, де знаходиться прокатуваний метал. Натяг штаби змінює схему напруженого стану металу в осередку деформації, що призводить до зменшення питомої тиску металу на валки, причому це зниження тим більше, чим більше натяг штаби. Якщо під час прокатки змінюється повний тиск металу на валки, то відбувається зміна величини пружної деформації робочої кліті («пружини»), що викликає зміна обтиску, тобто кінцевої товщини штаби. Натяг зростає в міру проходження переднього кінця штаби через наступні кліті і падає в міру того, як задній кінець залишає кліті чистової групи. Найбільше натяг штаби має місце при прокатці середній частині гуркоту. Таким чином, при прокатці з натягом кінці штаби обов'язково мають максимальну товщину, яка поступово зменшується до середньої частини штаби.

Різнотовщинність по довжині штаби залежить від того, які кліті безперервної групи створюють натяг і від величини цього натяження. Важное

значення для отримання мінімальної різнотовщинності має режим нагріву. Температура гуркоту перед чистової групою знаходиться в межах 1040-1100 градусів. Підвищити температуру гуркоту вище 1100 градусів важко. Різниця температур між окремими ділянками штаби в чистовий групі становить до 20 градусів. Це необхідно враховувати при встановленні температури кінця прокатки.

Збільшення швидкості прокатки підвищує температуру кінця прокатки металу. Швидкість прокатки в останній кліті чистової групи досягає 12м / сек. Для регулювання величини секундних обсягів металу по клетям, з метою усунення надмірно великих петель або натягу між клітьми, швидкість прокатки в кожній кліті чистової групи повинна бути проміжною між мінімально і максимально можливою швидкістю даної кліті. Швидкості прокатки в чистовій групі клітей повинні забезпечити максимально можливу продуктивність стану і максимальну температуру кінця прокатки. Продуктивність стану визначається пропускнуою здатністю окремих ділянок цеху - методичних печей, чорнової і чистової групою, оздоблювальних пристроїв (койл-бокс, моталки, ножиці), а також розмірами слябів і обтисканнями в коморах.

При зміні хімічного складу прокочується стали швидкість прокатки встановлюють залежно від потужності приводних двигунів робочих клітей чистової групи. Чим твердіше прокочується сталь, тим нижче вибирається швидкість прокатки. Швидкість прокатки в останній кліті чистової групи встановлюють не тільки з урахуванням технологічних вимог, але також з урахуванням співвідношення швидкостей в першій і останній клітьх чистової групи і загальної витяжки штаби в чистовий групі.

Температура кінця прокатки впливає на отримання рівномірної структури гарячекатаного листа.

Збільшення температури кінця прокатки може бути досягнуто за рахунок:

- Збільшення швидкості прокатки в чистовій групі.

- Перерозподілу деформації між чорнової і чистової групами стану (при зменшенні величини деформації в чорновій групі і збільшенні деформації в чистовій групі зі збереженням сумарної деформації температура кінця прокатки підвищується).

- Перерозподілу обтиснень в чистовій групі клітей (при зменшенні обтиснень в перших клітках чистової групи і збільшенні обтиснень в наступних температура кінця прокатки підвищиться).

Ремонт обладнання стану.

- Поточне обслуговування і ремонт електрообладнання стану.
- Ревізія мереж освітлення і електропроводки в приміщеннях цеху, агрегатах в тунелях вентиляційних системах в маслоподвалах.
- Відновлення огорожень, захисних пристроїв, невеликих ділянок трубних трас і іншої металопродукції.
- Оперативне обслуговування комутаційної апаратури, контактних місць підключення електрообладнання (виведення електродвигунів, пайки, скручування).
- Аналіз роботи обладнання з використанням систем діагностики, усунення несправностей.
- Ремонт приводів лінії кліті №5 з заміною та ремонтом металоконструкцій.
- Ремонт приводів лінії кліті №6 із заміною та ремонтом металоконструкцій.
- Ремонт приводів лінії кліті №7 із заміною та ремонтом металоконструкцій.
- Ревізія натискних механізмів клітей 5,6,7 з заміною гвинтів і гайок.
- Ремонт лінії кліті FSB з заміною гвинтів і гайок, ремонт систем змащення.
- Ремонт лінійок перед чистовим окалиноломателем FSB.
- Ремонт товщиноміра.

- Ремонт приводів лінії кліті №8 з заміною та ремонтом металоконструкцій.
- Ремонт приводів лінії кліті №9 з заміною та ремонтом металоконструкцій.
- Ремонт приводів лінії кліті №10 із заміною та ремонтом металоконструкцій.
- Ремонт міжклітьових проміжків.
- Ревізія натискних механізмів клітей 7,8,9,10 з заміною гвинтів і гайок.
- Ремонт мастильних систем і гідравліки чистової групи.

Щоб уникнути травматизму і смертельного випадку від механічних частин і удару струмом все налагоджувальні, ремонтні та відновлювальні роботи механічних приводів, датчиків (тиску, товщиномірів, температури, довжини смуги), електроприводів, огорожі, лінійок, роликів, Шліпер, станин, гідроприводів, насосів, перевірка робочих і опорних валків, перевірка биття підшипників робочих і опорних валків, центрування і настройка проводиться строго після повної зупинки всіх приводів і охолодження ремонту або оглядання необхідних частин.

4.3. Заходи по забезпеченню виробничої санітарії та гігієни праці

Заходи щодо забезпечення безпеки праці для приміщення (дослідницької лабораторії, конструкторського бюро, офісу, тощо) обладнаного ПК з ВДТ розроблені відповідно до вимог Державних санітарних норм та правил «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу», МЮУ 06.05.2014р. за №472/25249, ДСанПіН3.3.2.007-98 «Державні стандартні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин»

і НПАОП 0.00-7.15-18 «Вимоги щодо безпеки та захисту здоров'я працівників під час роботи з екранними пристроями».

Режим праці й відпочинку передбачає дотримання певної тривалості безперервної роботи на ПК і перерв, регламентованих з урахуванням тривалості робочої зміни, видів і категорії трудової діяльності.

За характером трудової діяльності виділено три професійні групи, згідно з ДК 003:2010 «Національний класифікатор України. Класифікатор професій»: група А - робота зі зчитування інформації з екрана з попереднім запитом; група Б - робота з введення інформації; група В - творча робота в режимі діалогу із ПК.

Категорії тяжкості й напруженості роботи на ПК визначаються рівнем навантаження за робочу зміну: для групи А - по сумарному числу зчитувальних знаків; для групи Б - по сумарному числу зчитувальних або знаків, що вводяться; для групи В - за сумарним часом безпосередньої роботи на ГІК. У таблиці наведені категорії ваги й напруженості робіт залежно від рівня навантаження за робочу зміну.

Таблиця 4.1. Види категорій трудової діяльності із ПК

Категорія роботи по тяжкості й напруженості	Рівень навантаження за робочу зміну при видах роботи на ПК		
	Група А Кількість знаків	Група Б Кількість знаків	Група В Час роботи, год
I	До 20000	До 15000	До 2,0
II	До 40000	До 30000	До 4,0
III	До 60000	До 40000	До 6,0

При 8-годинній робочій зміні й роботі на ПК регламентовані перерви варто встановлювати:

-для першої категорії робіт через 2 години від початку зміни й через 2 години після обідньої перерви тривалістю 15 хвилин кожна;

-для другої категорії робіт - через 2 години від початку робочої зміни й через 1,5-2,0 години після обідньої перерви тривалістю 15 хвилин кожна або тривалістю 10 хвилин через щогодини роботи;

-для третьої категорії робіт - через 1,5- 2,0 години від початку робочої зміни й через 1,5-2,0 години після обідньої перерви тривалістю 20 хвилин кожна або тривалістю 15 хвилин через щогодини роботи.

При 12-годинній робочій зміні регламентовані перерви повинні встановлюватися в перші 8 годин роботи аналогічно перервам при 8-годинній робочій зміні, а протягом останніх 4 годин роботи, незалежно від категорії й виду робіт, щогодини тривалістю 15 хвилин.

Тривалість безперервної роботи на ПК без регламентованої перерви не повинна перевищувати 2 години.

Ефективними є нерегламентовані перерви (мікропаузи) тривалістю 1-3 хвилини.

Регламентовані перерви й мікропаузи доцільно використовувати для виконання комплексу вправ і гімнастики для очей, пальців рук, а також масажу, які наведені у Державних санітарних правилах і нормах роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно- обчислювальних машин ДСанПІН 3.3.2.007-98 «Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин».

Користувачам ПК, що виконують роботу з високим рівнем напруженості, показане психологічне розвантаження під час

Регламентованих перерв і наприкінці робочого дня в спеціально обладнаних приміщеннях (кімнатах психологічного розвантаження)

Всі професійні користувачі ПК повинні проходити обов'язкові попередні медичні огляди при надходженні на роботу, періодичні медичні огляди з обов'язковою участю терапевта, невропатолога й окуліста, а також проведенням загального аналізу крові й ЕКГ.

Для захисту від теплового випромінювання встановлені екрани .

Інтенсивність теплових випромінювань на відкритих робочих місцях в нагрівальних пристроїв складає: на листопрокатних цехах 1,75 - 2,7 кВт/м². Температура повітря в робочій зоні пічних відділень досягає 60 °С, а вологість зазвичай буває не вище 34%.

Інтенсивність теплових випромінювань на робочих місцях операторів постів управління може складати 0,05 - 2,1 кВт/м². Температура повітря в робочій зоні прокатних станів досягає 42 - 56 °С.

При розрахунку повітрообміну за умови виділення надлишкової теплоти кількість припливного повітря визначається за умови концентрації надлишків цього тепла.

$$L_b = \frac{Q_o}{c_p \cdot \rho_p \cdot (t_{yd} - t_n)}, \text{ м}^3/\text{с}$$

де Q_o – надлишки теплоти виробничому приміщенні;

G_b – масова теплоємність припливного повітря 1000 Дж/кг·°С;

S_b – густина 1,2 кг/м³;

t_{yd} – температура видаляється з приміщення повітря, °С;

t_n – температура зовнішнього повітря, °С.

Надлишки теплоти виробничому приміщенні розраховується за формулою:

$$Q_o = q \cdot V, \text{ Вт}$$

де q – питомий надлишок теплоти, Вт/м³.

В холодних цехах питомий надлишок теплоти складає $q = 20 \div 30 \text{ Вт/м}^3$.

В гарячих 100÷200 Вт/м³.

Температуру видаляемого з приміщення повітря знаходять як:

$$t_{yd} = t_{\text{норм}} + \Delta t (H - 2), \text{ } ^\circ\text{С}$$

$t_{\text{норм}}$ – нормальна температура в приміщенні;

Δt – градієнт температури, 1,5 град/м;

H – відстань від підлоги до центра витяжних пройомів.

$$Q_o = 25 \cdot 8000 = 200000$$

$$t_{yd} = 28 + 1,5 \cdot (6 - 2) = 40$$

$$L_b = \frac{200000}{1000 \cdot 1,2 \cdot 13} = 12,8$$

Для забезпечення повітря обміну в стінках будівлі роблять отвори для надходження зовнішнього повітря, а на даху або у верхній частині будівлі встановлюють спеціальні пристрої ліхтарі для видалення відпрацьованого повітря. Для регулювання надходження і видалення повітря передбачено перекриття та необхідну величину аераційних отворів і ліхтарів. Це особливо важливо в холодний період року. Ці умови праці зменшують тепловиділення, тепловипромінювання таким чином, забезпечуючи нормальний мікроклімат і умови праці.

Заходи щодо забезпечення виробничої санітарії і гігієни праці розробляються відповідно до вимог Державних санітарних норм та правил «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу», МЮУ 06.05.2014 р. за № 472/25249 (далі – «Гігієнічна класифікація праці»).

Гігієнічна класифікація праці спрямована на гігієнічну оцінку умов та характеру праці на робочих місцях працівників та застосовуються на підприємствах, в установах, організаціях усіх форм власності у випадках, передбачених законодавством.

Роботодавцями для розробки заходів щодо покращення умов праці та профілактики шкідливого впливу на організм працюючих використовуються результати досліджень (вимірювань) та гігієнічнішої оцінки умов праці, проведених з використанням критеріїв Гігієнічної класифікації праці.

Гігієнічна класифікація праці базується на оцінці її умов залежно від фактично визначених рівнів впливу факторів виробничого середовища і трудового процесу з урахуванням їх можливої шкідливої дії на здоров'я працівників.

Оцінка умов праці на робочих місцях, аналіз впливу на працюючих санітарно-гігієнічних чинників і параметрів трудового процесу,

передбачених гігієнічною класифікацією проводиться в процесі трудової діяльності. При цьому, оцінюється технічний і організаційний рівень робочого місця та ступінь можливого ушкодження здоров'я.

До санітарно-гігієнічних умов відносять:

- мікрокліматичні умови;
- освітленість робочої зони;
- рівень шуму в робочій зоні;
- виробничі вібрації;
- електромагнітні поля та випромінювання;
- іонізуючі випромінювання;

Основними умовами трудового процесу є важкість та напруженість праці.

Оцінку рівня умов, важкості та напруженості праці за бальною шкалою проводять відповідно до вимог «Гігієнічної класифікації праці» з урахуванням комбінованої та сумісної дії виробничих факторів, у разі їх наявності, у відповідності до алгоритму розрахунку оцінки рівня умов, важкості та напруженості праці за бальною шкалою.

Підвищений рівень вібрації при надходженні на виробничій ділянці.

Вібрації - коливання тіл з частотою менше 20 – 16 Гц. Тривала дія вібрації великої частоти викликає вібраційну хворобу, вражаючи нервово-м'язову і серцево-судинну системи людини і ведучу до пошкодження суглобів. При цьому може бути повна втрата працездатності. Для вимірювання вібрації в цеху використовують віброшуми, що відносяться до приладів неелектричного типу.

Ослаблення рівня вібрації може бути досягнуто наступними заходами:

- Ослаблення вібрацій може бути досягнуто виконанням конструктивних і технологічних заходів.
- Зрівноважуванням і динамічним балансуванням обертових деталей машин.
- Зсуненням дефектів і люфтів деталей.

- Застосуванням динамічних гасителів, що мають резонансну частоту, що збігається з частотою вібрацій, які необхідно усунути.
- Установкою віброуючих агрегатів на самостійні віброізолювані фундаменти, із застосуванням пружної підвіски агрегатів і амортизаторів.
- Застосуванням амортизації робочих місць (сталевих пружин, ресор, прокладок з гуми, пробок.

Для захисту від вібрації пропоную:

- Замінити виробничі процеси, що викликають вібрації, іншими менш галасливими процесами.
- Влаштувати спеціальні фундаменти, незалежні від конструкцій будівель і що мають значну масу і акустичні шви.
- Застосувати ізолюючі прокладки і амортизатори.
- Використовувати індивідуальні засоби захисту від вібрації, а також проведення заходів гігієнічного характеру.

Для забезпечення оптимальних параметрів мікроклімату у ливарних цехах в холодний період року температура складає 20-22°C вологість - 40-60%, швидкість руху повітря - 0,1-0,2 м/с. В теплий період року температура - 22-24°C, вологість - 67-70%, швидкість переміщення повітря - 0,4 м/с (ДСН 3.3.6.042-99 «Державні санітарні норми параметрів мікроклімату»; ГОСТ 12.1.005-88. «ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны»).

Для досягнення оптимальних параметрів повітряного середовища в ливарних цехах, з огляду на підвищені теплові випромінення передбачається устрій системи природної вентиляції, використання систем загальнообмінної механічної вентиляції, або притокової вентиляції.

Необхідний повітрообмін складає 3-5кратний обмін за 1 годину.

В разі необхідності в холодну пору року подача зовнішнього повітря виконується через калорифери.

4.4. Заходи з пожежної безпеки

Підрозділ «Заходи з пожежної безпеки» розробляється відповідно до вимог НАПБ А.01.001-2014 «Правила пожежної безпеки в Україні».

Розробку заходів з пожежної безпеки починають з аналізу речовин і матеріалів, що використовуються при роботі на об'єкті, з метою визначення класу можливої пожежі (А, В, С, О, Р, Е) згідно ДСТУ £N2:2014 «Класифікація пожеж» (ЕИ 2:1992, БИ 2:1992/А 1:2004, ЮТ та категорії його пожежної небезпеки, відповідно до вимог ДСТУ Б В.1.1-36:2016 «Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою» та СНиП 2.09.02-85* «Производственные здания». Тобто указати до якої категорії виробництва з пожежної небезпеки (А, Б, В, Г, Д) належить об'єкт (дослідницька лабораторія, конструкторське бюро, дільниця, підстанція, цех, тощо).

Відповідно до категорії виробництва з пожежної небезпеки і вимог ДБН В. 1.1-7:2016 «Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги», указати ступінь вогнестійкості приміщення об'єкта (дослідницької лабораторії, конструкторського бюро, дільниці підстанції, цеху, тощо).

Відповідно до вимог ДБН В.1.1-7:2016 «Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги», передбачити шляхи евакуації працівників на випадок пожежі (переходи, евакуаційні виходи). Указати максимальне видалення від найбільш віддаленого робочого місця найближчого евакуаційного виходу згідно п.2 29(табл 2) СНиП 2.09.02-85 «Производственные здания».

Показати відповідність обладнання, силових і освітлювальних мереж об'єкту (дослідницької лабораторії, конструкторського бюро, офісу, дільниці, підстанції, цеху, тощо), вимогам пожежної безпеки, згідно вимог НІАОП 40.1-1.32-01 «Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок».

Показати наявність засобів виявлення загорянь і пожеж згідно вимог ДБН В.2.5-56:2014 «Системи протипожежного захисту»:

- автоматичних сигналізаторів про пожежу;
- системи пожежної сигналізації;

З огляду на пожежну небезпеку виробництва, передбачити систему пожежного водопостачання або автоматичного пожежогасіння та первинні засоби пожежогасіння (вогнегасники різних видів) відповідно до вимог «Правил експлуатації та типових норм належності вогнегасників», затверджених наказом МВСУ 15.01.2018 №25 та зареєстрованих в МЮУ 23.02.2018 р. За №225/31677.

4.5. Заходи по забезпеченню безпеки в надзвичайних ситуаціях

Виробнича аварія – це раптова зупинка роботи або порушення установленого процесу виробництва на об'єкті, яка призводить до пошкоджень або знищення матеріальних цінностей, травмування або загибелі людей. Основними заходами щодо ліквідації наслідків великих аварій є: оповіщення про небезпеку робітників та службовців, формувань ЦО і населення, що проживає поблизу об'єкта; комплексна розвідка об'єкта, на якому відбулася аварія; порятунок людей з-під завалів; зі зруйнованих і пошкоджених будинків та споруд, надання медичної допомоги постраждалим і евакуація їх у лікуванні установи; гасіння пожеж; локалізація аварій на комунально-енергетичних мережах, які перешкоджають веденню рятувальних робіт; улаштування проїздів і проходів до місць аварії; обвалування нестійких конструкцій, розбирання завалів, демонтаж збереженого устаткування, якому загрожує небезпека; організація комендантської служби. Ліквідація наслідків аварії поводитьсь в 4 етапи:

1 етап. Вживання екстрених заходів: оповіщення і збір НОГ попередня оцінка обстановки вживання екстрених заходів по захисту робітників, службовців, населення надання допомоги потерпілим локалізація аварії та організація розвідки організація комендантської служби і підтримка громадського порядку в районі аварії.

2 етап. Оперативне планування: розвідка уточнення обстановки прогнозування розрахунок сил і засобів оцінка збитку вироблення рішення планування робіт з ліквідації аварії

3 етап. РІНР. Рятувальні роботи: розшук потерпілих витягнення потерпілих евакуація людей надання першої медичної допомоги Інші невідкладні роботи: локалізація аварії гасіння пожеж зміцнення споруд

4 етап. Відновлення мереж.

5 етап. Проведення санітарної обробки людей.

6 етап. Ліквідація наслідків.

Заходи щодо створення умов для забезпечення діяльності населення, відновлення функціонування ОГ: коротко строкове відновлення експлуатації об'єкта тимчасове відновлення для забезпечення роботи об'єкта капітальне відновлення з реконструкції споруд.

Використані джерела

1. Ткалич К.Н., Коновалов Ю.В. Точная прокатка тонких полос. – М.: Металлургия, 1972. – 176 с.
2. Меерович И.М. Повышение точности листового проката/ Меерович И.М., Герцев А.И., Горелик В.С., Классен Э.Я. - М.: Металлургия, 1969. - 264 с.
3. Сафьян М.М. Прокатка широкополосовой стали. - М.: Металлургия, 1969. - 460 с.
4. Васильев Я.Д., Сафьян М.М. Производство полосовой и листовой стали. К., Вища школа, 1975. – 192 с.
5. Григорян Г.Г., Железнов Ю.Д., Черный В.А., Кузнецов Л.А., Журавский А.Г. Настройка, стабилизация и контроль процесса тонколистовой прокатки. М., Металлургия, 1975 – 368 с.
6. Николаев В.А., Путники А.Ю. Формирование толщины штаби при прокатке на широкополосных станах. – Запорожье, Дикое поле, 2011. – 180 с.
7. Николаев В.А. Способы и устройства воздействия на процессы прокатки полос. – К.: Освита України, 2011. – 237с.
8. Полухин В.П. Математическое моделирование и расчет на ЭВМ листовых прокатных станов. - М.: Металлургия, 1972.-512 с.
9. Николаев В.А., Матюшенко Д.А. Изменение толщины по длине штаби на ШСГП при воздействии технологических факторов// Производство проката, 2008, №7. - С. 24-29.
10. Грудев А.П. Внешнее трение при прокатке. - М.:Металлургия, 1973. - 228 с.
11. Николаев В.А., Васильев А.Г., Васильев А.А. Особенности прокатки на станах горячей прокатки с разделением чистовой группы клетей// Обработка материалов давлением, 2011. №3. – С.153-158.
12. Николаев В.А., Матюшенко Д.А. Определение продольной разнотолщинности горячекатаных полос //Металл и литье Украины,2007, №8.-С.20-22.

13. МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ «ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ» 2018г с16-25
14. Паспорт цеха «ЦЕХ ГОРЯЧЕЙ ПРОКАТКИ ТОНКОГО ЛИСТА» с85-96, с168, с177
15. Охрана труда в машиностроении. Под ред. Е.Я. Юдина и С.Б. Белова – М.: Машиностроение, 1983 г., 432 с.
16. Атаманюк В.Г. Гражданская оборона – М.: Высшая школа, 1987 – 288 с.