МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ
ім. Ю.М. ПОТЕБНІ
Кафедра металургійних технологій, екології та техногенної безпеки

Кваліфікаційна робота / проєкт

Перший (бакалаврський)
(рівень вищої освіти)

на тему **Розробка технології прокатки штаби 4,0х1110 мм зі сталі А36 на безперервному тонколистовому стані 1680**

Виконав: студент IV курсу, групи 6.1363-омт-с2
спеціальності 136 Металургія
(код і назва спеціальності)
освітньої програми Обробка металів тиском
(код і назва освітньої програми)
Д. Д. Чернов
(ініціали та прізвище)

Керівник
проф. каф. МТЕТБ, д.т.н. Юрій Бєлоконь

Рецензент
проф. каф. МТЕТБ, д.т.н. Оксана Воденнікова

Запоріжжя – 2026 року

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

Інженерний навчально – науковий інститут ім. Ю.М. Потебні

Кафедра ____металургійних технологій, екології та техногенної безпеки___
Рівень вищої освіти __перший (бакалаврський) рівень_____
Спеціальність _____136 «Металургія»_____
(код та назва)
Освітньо-професійна програма _____Обробка металів тиском_____
(код та назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри МТЕТБ
_____Ю.О. Бєлоконь
"_26_" ___12_____2025 року

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

_____Чернов Данило Денисович_____
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи (проекту) Розробка технології прокатки штаби 4,0х1110 мм зі сталі А36 на безперервному тонколистовому стані 1680_____

керівник роботи (проекту)__Бєлоконь Юрій Олександрович, д.т.н., проф.___,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від "23" 12. 25 р. № 1831-с

2. Строк подання студентом роботи _____10 червня 2026 року_____

3. Вихідні дані до роботи: Матеріали виробничої (переддипломної) практики, курсові проєкти, технічна документація, літературні джерела, інтернет-ресурси. Профіль – 4,0х1110 мм, матеріал – сталь А36._____

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): Реферат. Вступ. Загальна частина. Технологічна частина. Механічна частина. Охорона праці та техногенна безпека. Висновки.

Мета кваліфікаційної роботи – розробка технології гарячої прокатки штаби 4,0х1110 мм зі сталі А36 та реконструкція дільниці чистової групи стану гарячої прокатки 1680 ПАТ "Запоріжсталь".

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

Презентація до 15 слайдів (графіки залежностей, схем деформацій, схеми розміщення устаткування та обладнання тощо).

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата завдання прийняв
1 Загальна частина	Бєлоконь Ю.О., проф. каф. МТЕТБ	
2 Технологічна частина	Бєлоконь Ю.О., проф. каф. МТЕТБ	
3 Механічна частина	Бєлоконь Ю.О., проф. каф. МТЕТБ	
4 Охорона праці та техногенної безпеки	Бєлоконь Ю.О., проф. каф. МТЕТБ	

7. Дата видачі завдання __26.12.2023 року.__

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Реферат, вступ, розділ 1.	12.02.25 – 13.03.26	
2.	Розділи 2 - 3	16.03.26 – 17.04.26	
3.	Охорона праці (розділ 4), висновки, оформлення ПЗ і креслень, підготовка доповіді і презентації.	20.04.26 – 24.05.26	

Студент _____ **_Данило ЧЕРНОВ_**
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи) _____ **Юрій БЄЛОКОНЬ**
(підпис) (прізвище та ініціали)

Нормоконтроль пройдено
Нормоконтролер _____ **___Юрій БЄЛОКОНЬ**
(підпис) (прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота: 69 с., 12 рис., 8 табл., 27 джерел.

ГАРЯЧА ПРОКАТКА, СЛЯБ, ДЕФОРМАЦІЯ, КЛІТЬ, ОБТИСК, ВАЛКИ, СМУГА, ШВИДКІСТЬ ПРОКАТКИ, КУТ ЗАХВАТУ, ДУГА ЗАХВАТУ, ТЕМПЕРАТУРНИЙ РЕЖИМ, РОЗКАТ, ВИПЕРЕДЖЕННЯ.

Об'єкт дослідження – прокатний цех металургійного заводу.

Метою кваліфікаційної роботи є аналіз технології гарячої прокатки тонколистового прокату на безперервному широкосмуговому стані 1680 ПАТ «Запоріжсталь», розрахунок режимів деформації та силових параметрів процесу прокатки штаби зі сталі А36 розміром 4,0×1110 мм, а також розроблення технічних рішень, спрямованих на вдосконалення технологічного процесу, підвищення якості продукції та розширення сортаменту за рахунок освоєння виробництва штаб із чечевичною поверхнею.

Практичним результатом роботи стало обґрунтування можливості виробництва гарячекатаних смуг із чечевичною поверхнею на стані 1680. Встановлено, що освоєння даного виду продукції сприяє підвищенню конкурентоспроможності підприємства, розширенню ринків збуту та збільшенню економічної ефективності виробництва.

ЗМІСТ

ВСТУП.....6
1 ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА……. 7
1.1 Характеристика цеху.....7
1.2 Технічна характеристика обладнання стана.....15
1.3 Сортамент стану і марки сталі…….....35
1.4 Технологічний процес прокатки.....37
1.5 Аналіз недоліків роботи обладнання стану.....37
1.6 Заходи щодо усунення недоліків.....37
1.7 Особливості виробництва смуг з чечевичною поверхнею.....37
2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА.....38
2.1 Розрахунок режиму обтисків.....38
2.2 Розрахунок зусилля прокатки.....59
2.3 Розрахунок продуктивності стана.....76
3 МЕХАНІЧНА ЧАСТИНА.....78
3.1 Опис конструкції кліті, окремих її деталей.....78
3.2 Розрахунок валків на міцність.....82
3.3 Розрахунок на міцність станини.....86
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА.....93
4.1 Технічні рішення щодо безпечної експлуатації стану 1680……93
4.2 Виробничі випромінювання.....95
4.3 Пожежна безпека.....…97
4.4 Заходи щодо захисту навколишнього середовища……..….100
ВИСНОВКИ.....108
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ ……. 109

ВСТУП

Публічне акціонерне товариство «Запорізький металургійний комбінат «Запоріжсталь» - одне з найбільш крупних промислових підприємств України. Його продукція добре відома і має попит у споживачів на внутрішньому ринку і в багатьох країнах світу. Основними споживачами продукції комбінату є виробники зварних труб, підприємства автомобільного, сільськогосподарського, транспортного машинобудування, виробники побутової техніки.

Основні зусилля фахівців «Запоріжсталі» направлені на освоєння нових ринків збуту і видів продукції, зміцнення позитивного іміджу підприємства, розширення географії постачань. Основа успіху - строге дотримання і постійне вдосконалення технологічних процесів, висока якість продукції, що випускається, чітке виконання договірних зобов'язань, орієнтація на потреби замовників.

Міжнародне визнання ПАТ «Запоріжсталь» підтверджене багаточисельними призами і сертифікатами. На комбінаті виробляють високоякісний гарячекатаний і холоднокатаний листовий прокат) завтовшки 0,5-9,0 мм з вуглецевих, низьколегованих, легованих і неіржавіючих сталей. Комбінат займає стійке положення на ринку, рік за роком просуваючись вгору в списку найбільших виробників сталі. Металургійний комбінат «Запоріжсталь» є одним з основних постачальників якісного плоского прокату, гнутих профілів і жерсті для потреб української промисловості і на експорт.

За об'ємом виробництва сталі ПАТ «Запоріжсталь» входить в четвірку найбільш крупних металургійних підприємств України, а по виробництву тонколистового, у тому числі холоднокатаного, прокату утримує лідерство. ПАТ «Запоріжсталь» є єдиним на Україні підприємством по виробництву тонколистового прокату з неіржавіючих і легованих сталей, гнутих профілів, консервної жерсті.

1 ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА

1.1 Характеристика цеху

У циклі виробництва комбінату «Запоріжсталь» ЦГПТЛ займає важливе місце та разом з обтискним цехом є сполучним ланцюгом між рідкою сталлю та готовим прокатом. Перший сляб на тонколистовому стані був прокатаний шістнадцятого квітня 1938 року, а з першого травня стан увійшов до числа діючих агрегатів. Цех гарячої прокатки тонкого листа складається з основних та допоміжних дільниць.

Цех гарячого прокату тонкого листа призначений для виробництва товарних і передільних рулонів і листів.

До складу цеху входять: ділянка методичних нагрівальних печей; безперервний широкосмуговий стан 1680; ділянка підготовки валків; ділянка відділки листів і рулонів, що включає ряд агрегатів для різання смуг на листи.

До допоміжних дільниць відносяться: вальцеремонтна майстерня, дільниця підготовки валків, дільниця ревізії та ремонту підшипників, насосні станції води високого та низького тиску, дільниця експортних рулонів, склад готової продукції, травильний агрегат, у якому листи металу піддаються травленню у випадку замовлень на протравлений метал.

В даний час на БТЛС 1680 прокатують смуги одинарної (до 8 тонн) і подвійної (до 16 тонн) маси. Основна маса металу прокатується транзитом. Приблизно 7-10 % металу прокатується після нагріву в методичних печах. Сляби подвійної маси прокатуються лише транзитом. Для забезпечення прокатки за схемою злиток-сляб-рулон виконана модернізація чорнових клітей: встановлені регульовані приводи на чорнових клітях Дуо №3, ; №4; вертикальних клітях №1, №2, і №3, а також система автоматичної перебудови механізмів району чорнових клітей.

БТЛС 1680 складається з двох груп робочих клітей. До складу чорнової групи входять: чорновий окалиноламач (кліть «ДУО»), 4 робочих кліті "кварто" і три вертикальні кліті. До складу чистової групи входять: чистовий окалиноламач і шість робочих клітей "кварто", а також летючі ножиці 25х1700 мм для обрізання переднього і заднього кінця смуги.

Хвостова частина стану складається з наступного устаткування: моталок (6 шт.), транспортуючих рольгангів і конвеєрів, душируючого пристрою, 2-х під'ємно - поворотних столів.

Для нагріву слябів використовуються чотирьохзонні дворядні методичні рекуперативні печі з торцевою посадкою і видачею. Печі опалюються сумішшю доменного, коксового і природного газів, а в разі відсутності природного газу - сумішшю коксового і доменного газів.

Повітря необхідне для горіння, підігрівається в блоковому керамічному рекуператорі об'ємом 330 м^2 до температури від 550 ^{0}С до 650 ^{0}С.

Продукти горіння від всіх печей відводяться по боровах у дві димові труби заввишки 15 метрів. Посадка слябів в печі виконується поплавочно з виділенням слябів різних плавок і розмірів спеціальними прокладками. Сляби саджають як в гарячому, так і в холодному стані, за винятком окремих марок низьколегованих сталей, а також всіх високолегованих і неіржавіючих сталей, які садять в печі лише в холодному стані.

Підготовка валків до прокатки здійснюється на спеціальній ділянці, що включає 4 верстати для обдирання поверхні, огляду і ревізії подушок, а також стелажів для розбирання і збирання валків.

Відділення листообробки включає два агрегати поперечного різання, два агрегати подовжнього розпуску, агрегату періодичного травлення і інше допоміжне устаткування.

Агрегати поперечного різання призначені для різання гарячекатаних смуг в рулонах на листи завдовжки 1500-6000 мм.

Агрегати подовжнього різання призначені для здобуття з рулонів шириною 1000-1500 мм товарних рулонів шириною 40-500 мм, а також для здобуття заготівки для відділення гнутих профілів, пакувальної стрічки і в ін.

До складу цеху входить відділення гнутих профілів. Це відділення включає в себе стани $1 \div 4 \text{x} 400 \div 1500$, $2 \div 7 \text{x} 80 \div 500$, $1 \div 4 \text{x} 50 \div 300$. Вихідним матеріалом для гнутих профілів служать гарячекатані рулони після поздовжнього розпуску на агрегаті поздовжньої різки №3, №4. Сортамент відділення гнутих профілів представлений близько 500 профілерозмірами. Це – кути, швелери, замкнуті профілі, гофровані профілі та інші.

1.2 Технічна характеристика обладнання стана

Методичні печі необхідні для нагріву слябів перед прокаткою на БТЛС в тому випадку, якщо прокатка являється нетранзитною.

Повітря необхідне для горіння, підігрівається в блоковому керамічному рекуператорі обсягом 330 м^2 до температури від 500°С до 600°С. Для відводу продуктів горіння від всіх печей встановлені борова та дві димові труби висотою 85 метрів.

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

Сляби саджають як у гарячому, так й у холодному стані, за винятком окремих марок низьколегованих сталей, а для всіх високолегованих і нержавіючих сталей використовують тільки холодну посадку слябів. Коротка технічна характеристика й основні розміри робочого простору нагрівальних печей приведена в таблиці 1.1.

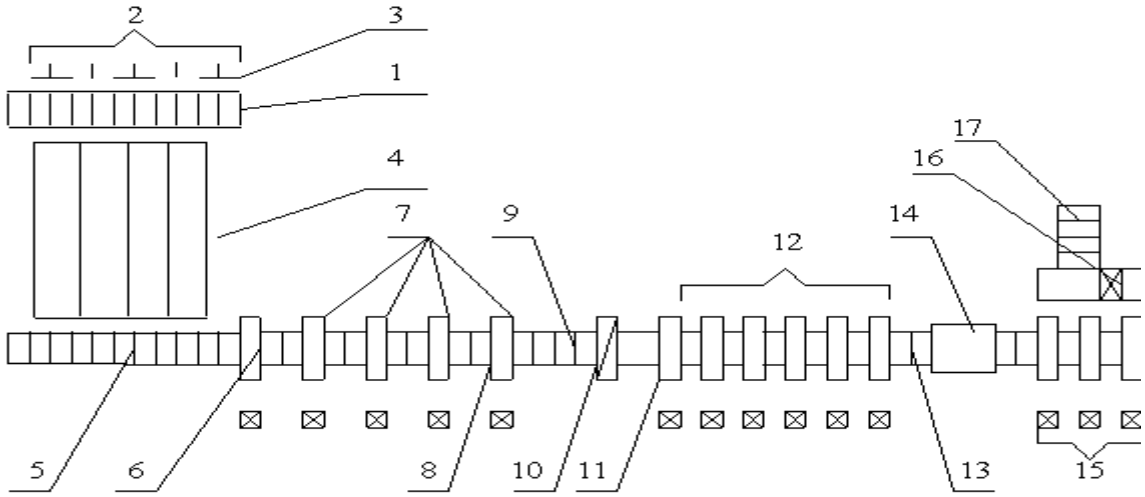
Таблиця 1.1 - Коротка технічна характеристика й основні розміри робочого нагрівальних печей

Найменування	Одиниця виміру	№ печей
		1,2,3,4
Корисна довжина Ширина печі	мм мм	31540 5220
Довжина методичної зони	мм	7810
Довжина другої зварювальної зони	мм	9280
Довжина першої зварювальної зони	мм	8930
Довжина томильної зони		

Регулювання температури по зонах печі відбувається за допомогою контрольно-вимірювальної апаратури. Печі опалюються сумішшю доменного, коксового й природного газів, а у випадку відсутності природного газу - сумішшю коксового й доменного газів.

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

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



1 – рольганг верхній пічний; 2 – штовхачі слябів; 3 – штовхач слябів;
4 – піч методична; 5 –нижній пічний рольганг ;6 – окалинозламач чорновий;
7 – кліті чорнової групи; 8 – кліті вертикальні;
9 – рольганг проміжний; 10 – ножиці; 11 – окалиноламач чистовий;
12 – чистова група клітей; 13 – рольганг розкатний; 14 – душируючий пристрій
15 – моталки; 16 – стіл приймальний; 17 – конвейер відвідний

Рисунок 1.1 – Схема розташування обладнання безперервного тонколистового стану гарячої прокатки 1680

Безперервний тонколистовий стан 1680 складається з двох груп клітей - чорнової і чистової.

До складу чорнової групи входять: одна двохвалкова кліть – чорновий окалинозламувач, чотири кліті кварто і три вертикальні кліті - еджери.

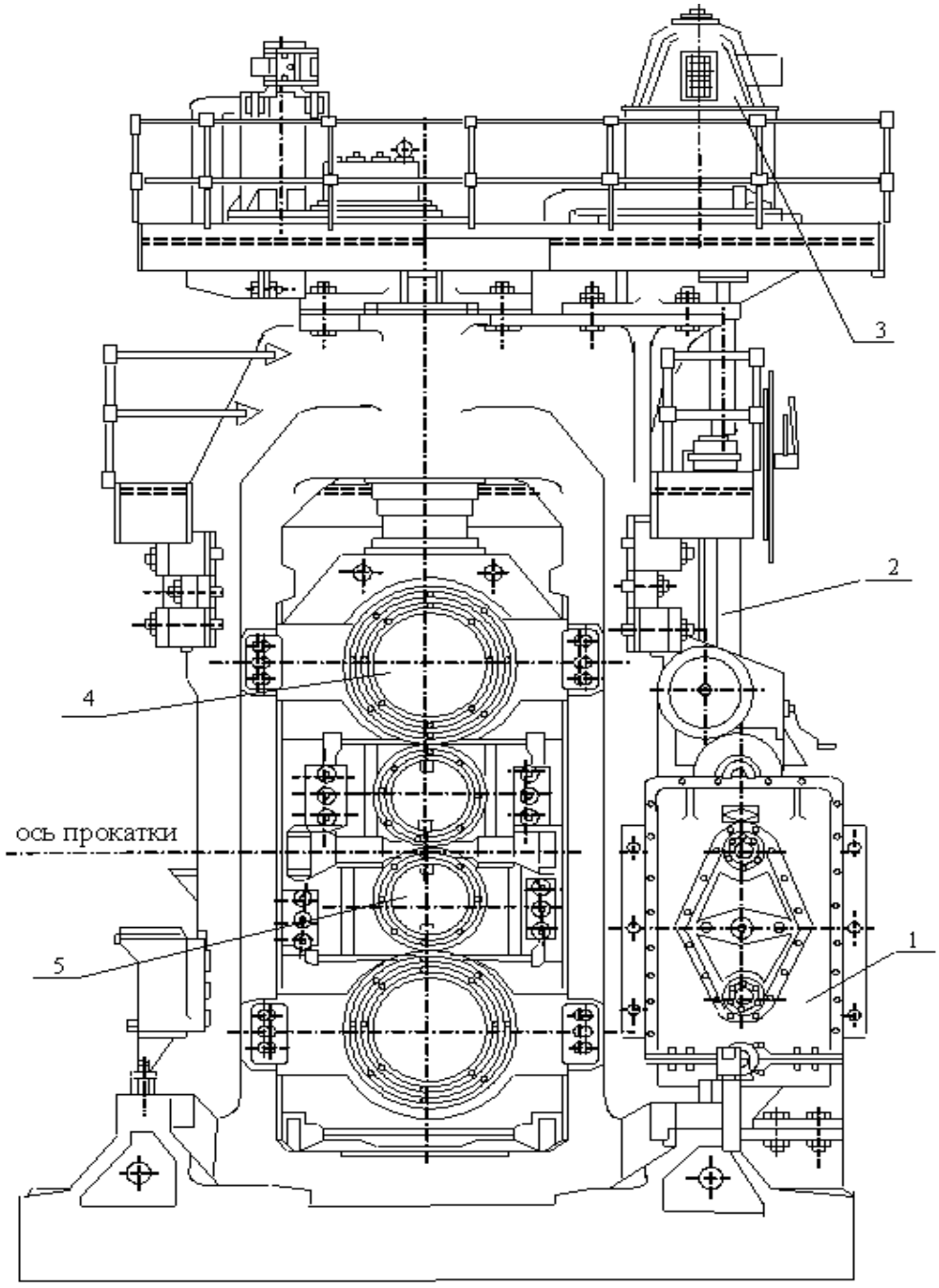
До складу чистової групи входять: чистовий окалинозламувач і шість клітей кварто, проміжний перемотувальний пристрій, летючі ножиці, які призначені для обрізання переднього і заднього кінців смуги.

Таблиця 1.2 - Характеристика горизонтальних валків

№ Кліті	Тип валків	Матеріал валків	Діаметр бочки, мм	Довжина бочки, мм	Діаметр шийки, мм
Дуо	Робочі	Сталь 50ХН	900	1680	620
№1	Робочі	Сталь 9ХФ	940	2440	660
№1	Опорні	Сталь 9ХФ	1320	2440	750
№2	Робочі	Сталь 9ХФ	850	1680	480
№2-10	Опорні	Сталь 9ХФ	1240	1680	650
№3-10	Робочі	Чавун	620	1680	395

Таблиця 1.3 - Характеристика вертикальних валків

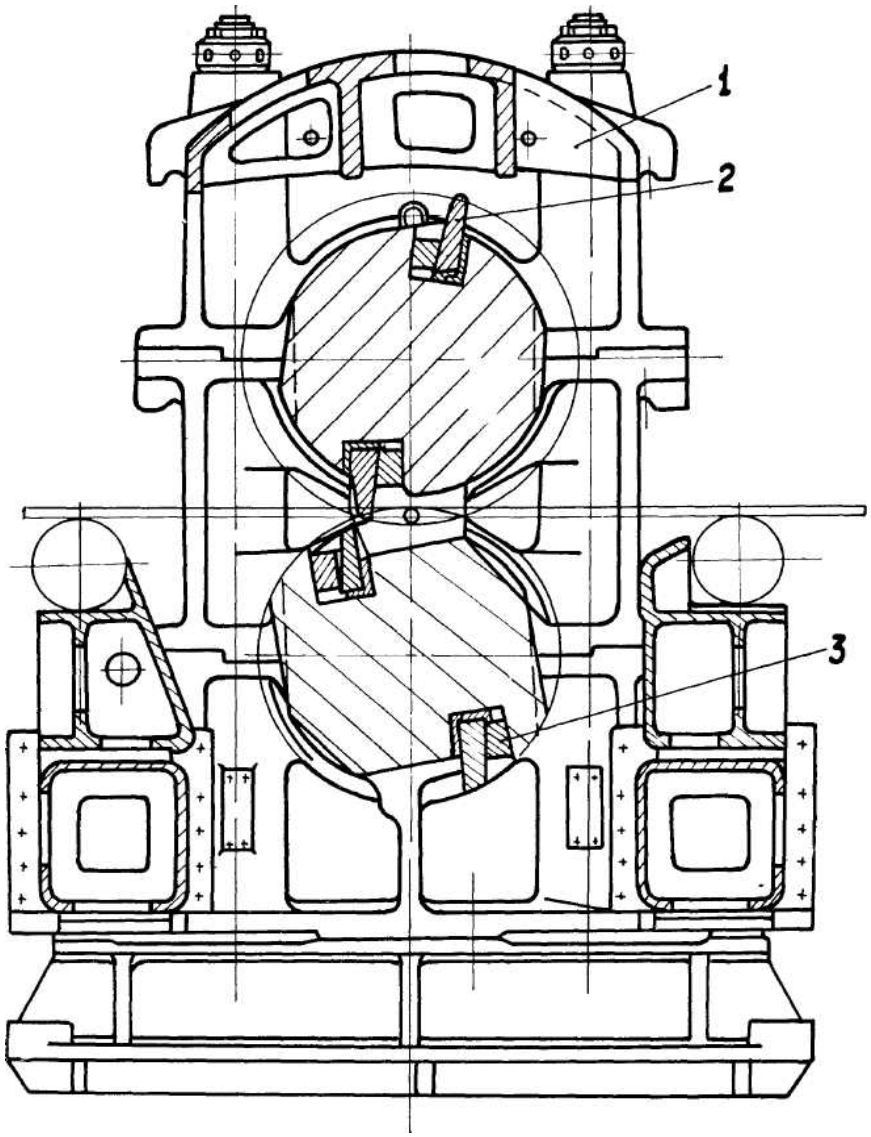
№ кліті	Діаметр валків, мм	Відносне обтиснення %	Швидкість обертання валків, об/хв	Швидкість прокатки, м/с
№1	760 - 810	1,5	10,7 - 21,4	0,42 - 0,90
№2	760 - 810	1	16,5 - 33	0,65 - 1,4
№3	570 - 610	0,5 - 0,75	26,1 - 52,3	0,78 - 1,67



1- станина; 2 –товщиномір; 3 – натискний пристрій

4 - валок опорный; 5 - валок робочий

Рисунок 1.2 – Кліть чорнова БТЛС 1680



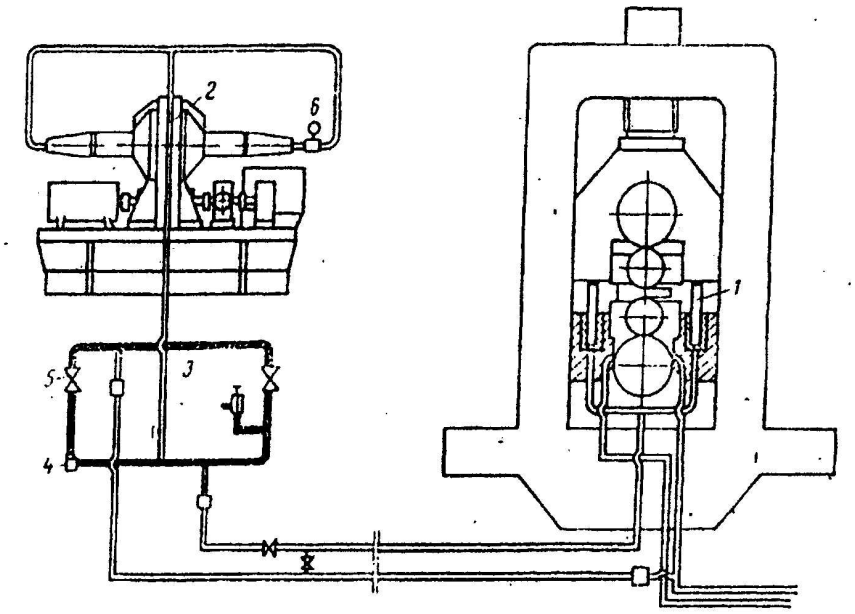
1 – кришка станини, 2 – барабан, 3 – ніж, 4 – станина

Рисунок 1.3 – Ножиці барабанні

Між чорновою та чистовою групами клітей встановлено устаткування проміжного змотування смуги. Койл-бокс забезпечує більш рівномірний розподіл температур розкату, який задається в чистову групу клітей. Це дозволяє розширити сортамент продукції, поліпшити якість продукції.

Перед чистовою групою клітей розташовані летючі ножиці барабанного типу для обрізання переднього й заднього кінців смуги. Температура при різанні повинна бути не менш 900^0С. Величина кінців смуги, що відрізають, коливається від 100 до 300 мм. Число обертів барабана становить від 12,2 до 27,4

об/хв. Потужність двигуна 1000 кВт. Максимальна швидкість руху розкату при різанні становить 2,2 м/с. Система протизгину робочих валків клітей 8-10 призначена для регулювання форми і профілю гарячекатаних смуг шляхом оперативної зміни активної утворюючої валків і складається з 4-х гідростанцій з насосами, трубопроводу і іншого обладнання. Зусилля протизгину в кожній кліті створюється 4-ма гідродомкратами, встановленими в нижніх подушках робочих валків.



1 – робочі циліндри, 2 – гидромеханічний пристрій

3 – зворотній клапан, 4 – запобіжний клапан,

5 – вентиль, 6 – манометр

Рисунок 1.4 - Схема системи протизгину валків

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

Душируючий пристрій призначений для прискореного охолодження смуг. Тип охолодження смуг камерний. При цьому вода з ванн верхніх секцій подається на смуги по типу «водяної завіси», а з ванн нижніх секцій - по типу «водяного стовпа».

Для регулювання натягу смуги між клітями чистової групи встановлені петлетримачі.

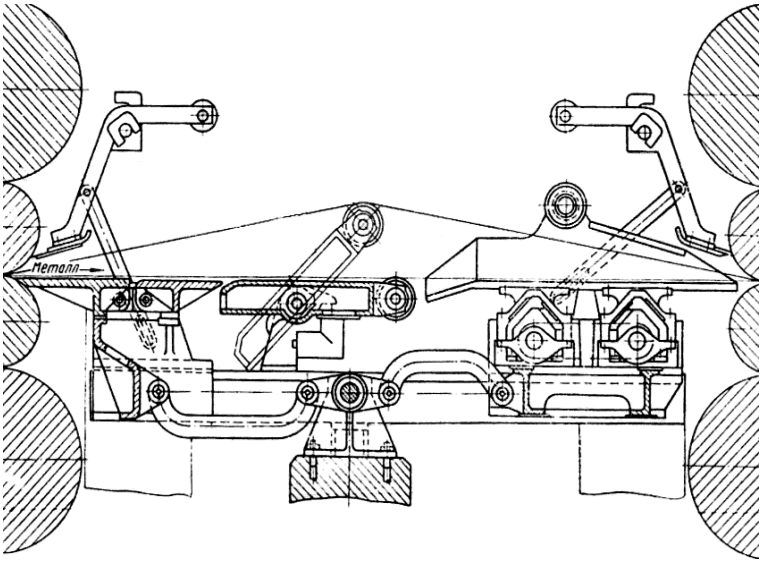


Рисунок 1.5 - Загальний вид петлетримача між клітями чистової групи

Після транспортування по відвідному рольгангу смуга змотується на моталках.

Для змотування гарячекатаних смуг в рулони встановлені багатороликові моталки барабанного типу. На стані встановлено дві групи моталок.

Коротка технічна характеристика моталок №1,2,3:

--тип – ролико-барабанні;

--товщина змотуваних смуг – 1,7-9,00 мм;

--ширина змотуваних смуг – 720-1550 мм;

--максимальна вага рулону – 15000 кг;

--зовнішній діаметр рулону: max – 1600 мм; min – 900 мм;

--швидкість змотування – 6-15 м/с;

--діаметр барабана – 750 мм;

--довжина барабана – 2150 мм;

--діаметр роликів, що тягнуть: верхнього – 900 мм; нижнего – 400 мм;

--потужність приводу барабана – 610 кВт;

--число обертів приводу барабана – 210/450 об/хв.

Коротка характеристика моталок №4-6:

--тип – ролико-барабанні;

--товщина змотуваних смуг – 1,8-6,00 мм;

--ширина змотуваних смуг – 600-1500 мм;

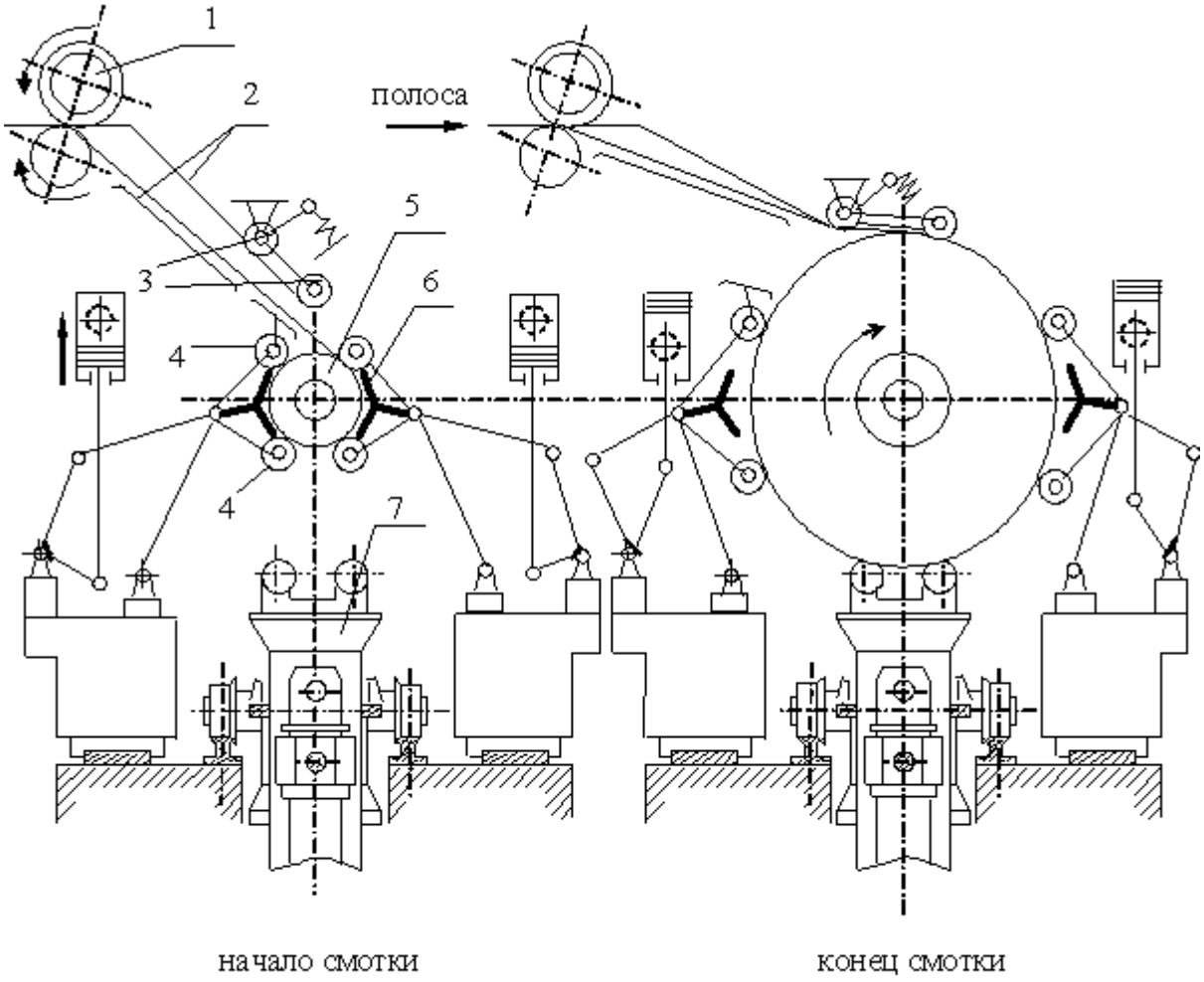
--максимальна вага рулонів – 7500 кг;

--зовнішній діаметр рулону: max – 1200 мм; min – 900 мм;

--діаметр барабана – 700 мм; --довжина барабана – 2200 мм;

--потужність приводу барабана – 100 кВт;

--число обертів приводу барабана – 475 об/хв.



1 – ролики тягнучі, 2 – проводки, 3 – ролики направляючі,

4 – ролики формируючі, 5 – барабан моталки, 6 – проводки

7 – знімач рулонів

Рисунок 1.6 – Схема моталки для змотування смуг

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

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

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

Підйомно-поворотний стіл №2: швидкість руху ланцюгів конвеєра від 3 до 6 м/с, число ланцюгів-2 штуки, крок ланцюга - 630 мм. Час повороту столу на 90^0 - 7 секунд; вантажопідйомність столу 15 тонн; хід столу 570 м .

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

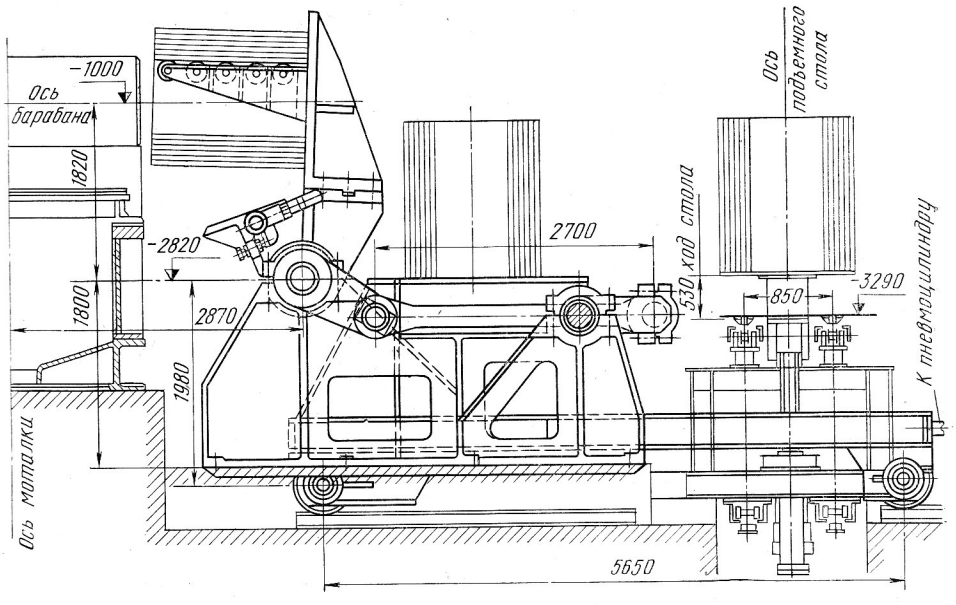


Рисунок 1.7 - Кантувач рулонів

Від змотувачів рулони по конвеєру №1 відправляються до підйомно - поворотного столу №1. Швидкість руху конвеєра від 4,5 до 9,0 м/хв. Число ланцюгів - 2шт. Крок ланцюгів - 630 мм. Найменший крок розміщення рулонів: масою до 7,5 т - 1500 мм; масою до 15 т - 3000 мм. Тип привода конвеєра - МП-72, потужність - 72 кВт, число обертів 520 об/хв.

Підйомно - поворотний стіл №1.

Час повороту стола на 90^0 - 7,5 с. Вантажопідйомність стола – 25 т. Швидкість завдання рулонів на стіл від 4,5 до 9,0 м/хв. Час повороту стола на 180^0 - 10,3 с. Час підйому стола - 4,0 с. Час опускання - 4,0 с. Хід стола -550 мм.

Підйомно - поворотний стіл №2.

Час повороту стола на 90^0 - 7 с. Вантажопідйомність - 15 т. Час підйому стола - 5 с. Час опускання стола - 5 с. Хід стола - 570 мм.

1.3 Сортамент стану і марки сталі

Безперервний тонколистовий стан гарячої прокатки тонкого листа 1680 призначений для прокату смуг від 1,9 до 8 мм і вширшки від 900 до1520мм

Товщина, ширина, форма, і якість поверхні гарячекатаних рулонів смуг повинні відповідати вимогам ГОСТ 19903-94, ГОСТ 14959-79, ГОСТ 16523-97, ГОСТ 14637-89, а також технічним умовам і стандартам підприємства.

При постачанні прокату по ГОСТ 16523-97 на поверхні г/к прокату не повинне бути полон, порізів, заходів, тріщин, вкатанних чужорідних і металевих частинок. Розшарування не допускаються

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

При постачанні прокату по ГОСТ 14637-89 на поверхні прокату не повинне бути дрантя, крізних розривів, скориночок. Допускаються дефекти (рябизна, ризики і інші місцеві дефекти), що не виводять прокат за граничні розміри.

Фактичне граничне відхилення по ширині смуг не повинне перевищувати +20мм при ширині смуг до 1000мм (включно) і +30 мм при ширині смуг зверху 1000мм. Для гарячекатаних смуг, призначених для подальшого переділу на холоднокатаний лист, відхилення, що допускається, не повинне перевищувати +20 мм.

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

Різнотовщинність кромок, зміряна на відстані 5 і 40 мм від кромки, не повинна перевищувати 0,10 мм. Різниця товщини між лівою і правою кромкою, зміряна на відстані 40 мм від кромки, не повинна перевищувати 0,06 мм.

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

Сталь марки А36 – суднобудівна сталь підвищеної міцності, яка призначена для будівництва суден і плавучих споруд. Виробництво сталі повністю відповідає ГОСТ 52927, крім того аналогічная продукція выпускається відповідно до вимог міжнародних вимог регістру судноплавства.

Таблиця 1.4 - Хімічний склад сталі А36, % (ГОСТ 5521 - 93)

C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Mo	V	N	Nb	Al
до 0.18	0.15 - 0.5	0.9 - 1.6	до 0.4	до 0.035	до 0.035	до 0.2	до 0.08	до 0.1	до 0.008	до 0.05	0.015 - 0.06

Сталь підвищеної міцності А36 використовують для виготовлення широкосмугового універсального, товстолистового, фасонного і смугового прокату, який в майбутньому піде на виготовлення корпусів кораблів і інших плавучих споруд.

Технологічні властивості сталі

Температура прокатки, ^{0}С початку 1250, кінця 800. Перетини до 350 мм охолоджуються на повітрі.

Зварюваність –зварюваєма.

Способи зварки: РДС, ЕШС.

Необхідні підігрівання і подальша термообробка.

КТС – необхідна подальша термообробка.

Таблиця 1.5 - Сортамент рулонів подвійної маси, які прокатують на стані БТЛС-1680

Товщина полос, мм	Ширина полос, мм	Марки сталей	Товщина слябів, мм
2,5-3,9	1000-1100	-Ст0 , Ст1 кп/пс/сп, - Ст2 кп/пс/сп, Ст3 кп/пс/сп; -08Ю; 08-20 кп/пс/сп; -S235JR(3С-8), S235JRG(3С-9), -S235JRG2(3С-10), S275JR(3С-13)	130-168
3,0-3,9	1000	4 кп/пс/сп, 3пс	130-168
4,0-8,0	1000-1500	-Ст0 , Ст1 кп/пс, - Ст2 кп/пс, Ст3 кп/пс, Ст4 кп/пс -08Ю; 08-20 кп/пс; -S235JR(3С-8), S235JRG(3С-9), -S235JRG2(3С-10)	150-168

1.4 Технологічний процес прокатки

Сляби товщиною 110 мм та шириною 1100 мм, після нагріву у печах до температури 1220 – 1250^{0}С, направляються по нижньому печному рольгангу до чорнової групи клітей. Чорнова група клітей у своєму складі має кліть “дуо”, чотири кліті кварто та три еджери, які призначенні для вирівнювання кромок розкату та отримання необхідної ширини розкату. Обтиск у вертикальних клітях знаходиться у межах 0,5 – 1,5 %, фактично в міліметрах це складає від 5 до 15 мм. У кліті «дуо» з діаметром валків 900мм сляб піддається обтиску до 20% У цій кліті здійснюється зламування первинної окалини зі слябу. Потім сляб прокатується у клітях № 1,2,3,4 (з діаметром валків у першій 940мм, у другій 850мм та в останніх по 620мм), де відбувається обтиск, як по товщині, так і по ширині розкату у вертикальних валках (еджерах), які знаходяться перед клітями 2,3,4. Із четвертої кліті виходить розкат 20,9х1000мм.

Після прокатки у чорновій групі клітей смуга товщиною 21мм проміжнім рольгангом передається до чистової групи клітей, яка складається з шести клітей

кварто, маючих довжину бочки валків 1680 мм та діаметр робочих валків 620 мм.

Перед задаванням у чистову групу клітей передній та задній кінці розкатів, при необхідності, обрізуються на летючих ножицях. Далі у чистовому окалинозламувачі руйнується вторинна окалина, яка утворюється після прокатки у чорновій групі клітей. Потім розкат обтискається у клітях №5-10, з останньої десятої кліті виходить смуга розміром 4х1110мм. Чистова група клітей безперервна, тому для можливості регулювання швидкісного режиму в чистовій групі клітей поміж клітями встановлені петле тримачі. Максимальна швидкість прокатки цієї смуги у чистовій групі 7 м/с.

Далі смуга по транспортному рольгангу через душируючий пристрій без охолодження транспортується до змотувачів де змотується у рулон на змотувачах № 4 - 6, далі рулон виштовхується з барабану змотувача на кантувач із подальшою кантівкою на конвеєр.

Рулони по відвідному конвеєру рухаються до підйомно-обертального столу №1, де сортуються за призначенням -і поступають на транспортуючий конвеєр в проліт складу рулонів.

1.5 Аналіз недоліків роботи обладнання стану

Габарити робочого простору методичних печей дозволяють нагрівати сляби масою тільки до 8 тонн.

Наявність водоохолоджуючих гліссажних труб приводить до зниження температури металу в місці контакту на 20^0С й більше.

На нижньому пічному рольгангу відсутня система безударної видачі слябів.

Існуючі рекуператори фізично й морально зношені і не забезпечують ефективного підігріву повітря. Відсутня система запобігання підсмоктувань холодного повітря через вікна видачі, що приводить до охолодження правої кромки слябів, які знаходяться на подині печі перед видачею. Відсутня система автоматичного керування нагріванням. Наявність неопалювальної методичної

зони не дозволяє збільшити продуктивність печі. Одним з недоліків методичних печей є нерівномірне нагрівання слябів по товщині.

Недоліком чорнової групи клітей стана 1680 залишається не ефективна система гидрозбиву окалини, а саме низький тиск води: 80-100 атм; великі відстані від поверхні розкату до сопла: 300-450 мм замість 150-200 мм; фізичне спрацювання устаткування; відсутність вимірювача ширини розкату за чорновою групою стана; недостатня обтискна здатність вертикальних клітей; недостатня обтискна здатність робочих клітей, що не дозволяє збільшити товщину слябів; відсутність ефективних засобів центрування розкату.

Недоліком чистової групи клітей є неналагодженість системи автоматичного регулювання натягу, яка встановлена на стані. Існуючі системи противозгину робочих валків на клітях 8-10 через конструктивні особливості не дозволяють збільшити зусилля противозгину більше 90 тонн.

Існуючі системи противозгину працюють тільки в ручному режимі керування й не забезпечують оперативного регулювання площинності смуг. На стані відсутні засоби контролю площинності прокатаних смуг. Ще одним недоліком чистової групи є недостатня жорсткість станин робочих клітей.

Високий темп прокатки та існуюча система охолодження робочих валків клітей чистової групи (витрати води не більше 3500 $м^3$/год) обумовлюють температуру валків до 80-90^{0}С, що не дозволяє використовувати робочі валки із сучасних зносостійких матеріалів. Фізико-хімічні показники води не дозволяють використовувати сучасні високоефективні системи охолодження й гидрозбиву.

Двигуни головного приводу дозволяють підняти швидкість прокатки до 15 м/с (оберти двигунів максимум 650 об/хв), однак редуктори клітей чистової групи розраховані на швидкість прокатки не більше 9,1 м/с, - це 400 об/хв. З цієї причини швидкість прокатки обмежена до 9 м/с.

Але навіть вирішивши проблему підняття швидкості до 15 м/с, необхідно усвідомлювати, що транспортування смуг з такою швидкістю по рольгангу до моталок і захоплення переднього кінця смуг моталками при такій швидкості велика технічна проблема, оскільки моталки перебувають від останньої кліті на

відстані більше 230 метрів (на сучасних станах відстань між ними становить 980-1100 м), велика відстань (600-610 мм) між роликами рольганга (на сучасних станах 260-330 мм).

Існуючий швидкісний режим прокатки не забезпечує необхідну температуру кінця прокатки смуг товщиною 2,7 мм і менше.

Відсутні ефективні засоби для заощадження тепла металу, що катається способом транзитної прокатки. Підвищене охолодження кромок смуг (розкатів) при транзитній прокатці.

Відсутня система механізованої перевалки робочих валків клітей чистової групи, що приводить до втрат виробництва та не дозволяє скороти час перевалок.

Недоліком БШСС 1680 є недостатня обтискна здатність чистової групи. Нераціональним є використання роликових підшипників опорних валків; використання чавунних робочих валків недостатньої твердості (70-73 HRS); використання опорних валків недостатньої твердості (40-45 HRS).

Витрати води душируючого пристрою складають до 2600 $м^3$/год, що не забезпечує необхідну температуру смуг, призначених для змотування товщиною 4-8 мм без зниження швидкості прокатки.

Конструкція змотувачів не дозволяє регулювати швидкість змотування у процесі намотування для регулювання температури по довжині смуги.

Після змотування рулони транспортуються у вертикальному положенні, що приводить до пошкодження кромок.

1.6 Заходи щодо усунення недоліків

Методичні печі пристосовані тільки для нагріву одинарних слябів, тому на даний момент застосовується прокатка на пряму, прокатка через печі застосовується менш часто, тільки для окремих замовлень, які потребують нагріву.

Гидрозбив окалини в чорновій групі клітей неефективний, збив окалини відбувається частково, не виключається той факт, що окалина вкатується в поверхню металу. З метою покрашення збиву окалини планується встановлення кліті з вертикальним розташуванням валків, з мінімальною обтисковою здатністю, але з ефективним видаленням окалини.

Заміна двигуна кліті №2 дозволить збільшити обтиски в кліті №3, тим самим зменшити навантаження на №2 та №4 кліті, що дасть можливість уникнути перенавантажень в цих клітях та зв'язаних з цим простоїв.

Зменшення товщини розкату перед кліттю №5 дозволить перерозподілити обтиски в чистовій групі клітей, а враховуючи, що проміжний змотувальний пристрій вирівнює температуру по довжині розкату, який заходить в чистову групу клітей, зменшення товщини підкату знизить поздовжню різнотовщинність. Менша різнотовщинність та товщина в цілому дозволить розширити сортамент продукції, яка випускається, а також катати смуги меншої товщини покращеної якості.

Для зменшення простоїв при транспортуванні смуг до моталок пропонується замінити рольганг за кліттю №10 зі зміною шага роликів на 360 мм замість 600 мм.

Для покращення процесу охолодження смуг перед змотуванням пропонується встановлення обладнання прискореного охолодження, за рахунок чого смуга товщиною 5 мм охолоджується до температури 580 ºС, якщо її тепловий баланс на 25,6 % вище, чим смуги товщиною 2 мм, а потрібність в охолоджені водою на 10 % нижче.

1.7 Особливості виробництва смуг з чечевичною поверхнею

З метою розширення сортаменту продукції і збільшення кола споживачів на комбінаті «Запоріжсталь» розробили технологію прокатки смуг з чечевичною поверхнею.

З метою отримання гарячекатаних смуг з чечевичним рифленням на верхній поверхні використовують чавунний валок, на поверхні якого профрезировані лунки згідно креслень комбінату 223.0050.

Для прокатки смуг з рифленням у кліть № 9 завалювались нижній робочий валок с гладкою бочко а верхній валок с чечевичним рифленнням. Площинність смуг за чистової групою стану була задовільною.

Прокатка смуг з рифленням супроводжувалась підвищеною вібрацією і шумом у кліті № 9.

Для зменшення втрат виробництва із-за перевалок кліті № 9 для прокатки смуг з чечевичним рифленням перевалку кліті № 9 поєднують із загальною перевалкою чистової групи, а також збільшили об'єми прокатки смуг з чечевичним рифленням за одну кампанію робочих валків.

Спочатку технологія виробництва металопродукції з чечевичною поверхнею розроблялась згідно стандарту ASTM, з метою поставок на ринок США. Але в результаті антидемпінгового розслідування поставка цієї продукції на ринок США стала неможливою. Однак здійснювались поставки в країни ЄС. Сліду відмітити, що вартість рифлених смуг значно вище ніж звичайних.

Одною з основних задач комбінату «Запоріжсталь» є підвищення конкурентоспроможності продукції і збільшення заказів на внутрішньому ринку.

На зовнішньому ринку на сьогодні цілий ряд покупців вважає за краще замовляти саме цей вид чечевичного рифлення за стандартом ASTM, порівняно з вироблюваним маріупольським заводом рифленням по ГОСТ 8568-77.

Виходячи з вищевикладеного, не важко зробити висновок, що сьогодні ПАТ "Запоріжсталь" має у своєму сортаменті продукцію максимально наближену до стандарту ASTM, яку в Україні більше ніхто не виробляє.

Основна маса замовлень лягає на смуги з товщиною основи 3-4 мм Виробництво рифлених смуг з товщиною основи 3-4 мм є дуже енергоємними. Згідно з теоретичними основами прокатки у зв'язку з різною коловою швидкістю і тенденцією до виникнення розтягуючої напруги на окремих ділянках осередка

деформації при прокатці на валках різного діаметру контактний тиск менший, ніж при прокатці у валках однакового діаметру. Зниження тиску, залежно від співвідношення діаметрів, може досягати 20-30 % і більше. В результаті досліджень встановили, що при різниці діаметрів бочки робочих валків більше трьох міліметрів навантаження на двигун кліті № 9 не перевищують номінальних 7,05 кА.

У зв'язку з тим, що рентгенівський товщиномір при прокатці смуг з рифленою поверхнею виводить на дисплеї середнє значення за результатами замірів смуг в п'яти точках ускладнюється настройка стану на прокатку смуг у полі допусків і контроль за їх прокаткою.

Проблему вирішили після установки коректуючих коефіцієнтів на заміри.

Для цього після порізки рулонів на агрегаті поперечного різання проводилися виміри товщини основи і висоти рифл кожного листа.

Аналіз отриманих результатів показав, що товщина смуг за показаннями рентгенівського толщиномера і вимірів ручним мікрометром розрізняються на 0,3-0,5 мм в залежності від товщини смуги. Висота рифл згідно ГОСТ 8568-77 0,2-0,3 від товщини основи смуги забезпечується при обтиску в кліті № 9 20-27%.

2 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА

2.1 Розрахунок режиму обтисків

Таблиця 2.1- Вихідні данні

h_o, мм	b_o, мм	l_o, м	h_n, мм	b_n, мм	Сталь
110	1100	4,7	4	1110	А36

Розподіляємо величини відносних обтисків в чорновій групі клітей. Данні приймаємо на основі даних підприємства

$E_{дуо}$= 20 % E_1= 30 % E_2 = 30 % E_3 = 30 % E_4 = 30 %

Визначаємо товщину розкату в чорновій групі клітей

$h_n = h_o \cdot (1 - E_n)$ (2.1)

$h_{дуо} = h_o \cdot (1 - E_{дуо}) = 110 \cdot (1 - 0,2) = 88$ мм

$h_1 = h_{дуо} \cdot (1 - E_1) = 88 \cdot (1 - 0,3) = 61,6$ мм

$h_2 = h_1 \cdot (1 - E_2) = 61,6 \cdot (1 - 0,3) = 43,1$мм

$h_3 = h_2 \cdot (1 - E_3) = 43,1 \cdot (1 - 0,3) = 30,1$ мм

$h_4 = h_3 \cdot (1 - E_4) = 30,1 \cdot (1 - 0,3) = 21$ мм

Визначаємо величину абсолютних обтисків в чорновій групі клітей

$\Delta h_{дуо} = h_o - h_{дуо}$ (2.2)

$\Delta h_{дуо} = 110 - 88 = 22$ мм

$\Delta h_1 = h_{дуо} - h_1 = 88 - 61,6 = 26,4$мм

$\Delta h_2 = h_1 - h_2 = 61,6 - 43,1 = 18,5$мм

$\Delta h_3 = h_2 - h_3 = 43,1 - 30,1 = 13$мм

$\Delta h_4 = h_3 - h_4 = 30,1 - 21 = 9,1$мм

Визначаємо розширення в чорновій групі клітей

$$\Delta b_{дуо} = 0,35 \cdot \frac{\Delta h_{дуо}}{h_o} \cdot \sqrt{R_{дуо} \cdot \Delta h_{дуо}} = 0,35 \cdot \frac{22}{110} \cdot \sqrt{450 \cdot 22} = 7 \text{ мм} \quad (2.3)$$

$$\Delta b_1 = 0,35 \cdot \frac{\Delta h_1}{h_{дуо}} \cdot \sqrt{R_1 \cdot \Delta h_1} = 0,35 \cdot \frac{26,4}{88} \cdot \sqrt{470 \cdot 26,4} = 12 \text{ мм}$$

$$\Delta b_2 = 0,35 \cdot \frac{\Delta h_2}{h_1} \cdot \sqrt{R_2 \cdot \Delta h_2} = 0,35 \cdot \frac{18,5}{61,6} \cdot \sqrt{425 \cdot 18,5} = 9 \text{ мм}$$

$$\Delta b_3 = 0,35 \cdot \frac{\Delta h_3}{h_2} \cdot \sqrt{R_3 \cdot \Delta h_3} = 0,35 \cdot \frac{13}{43,1} \cdot \sqrt{295 \cdot 13} = 6 \text{ мм}$$

$$\Delta b_4 = 0{,}35 \cdot \frac{\Delta h_4}{h_3} \cdot \sqrt{R_4 \cdot \Delta h_4} = 0{,}35 \cdot \frac{9{,}1}{30{,}1} \cdot \sqrt{295 \cdot 9{,}1} = 5 \text{ мм}$$

Визначаємо сумарне розширення в чорновій групі клітей

$$\Sigma\Delta b = \Delta b_{дуо} + \Delta b_1 + \Delta b_2 + \Delta b_3 + \Delta b_4 \quad (2.4)$$

$$\Sigma\Delta b = 7 + 12 + 9 + 6 + 5 = 39 \text{ мм}$$

Визначаємо величину сумарного обтиску у вертикальних клітях

$$\Sigma\Delta h_в = b_о + \Sigma\Delta b - b_к \quad (2.5)$$

$$\Sigma\Delta h_в = 1100 + 39 - 1110 = 29 \text{ мм}$$

Розподіляємо обтиски у вертикальних клітях

$$\Sigma\Delta h_в = 10 + 10 + 9 = 29 \text{ мм}$$

Визначаємо ширину розкату в чорновій групі клітей

$$b_{дуо} = b_о + \Delta b_{дуо} = 1100 + 7 = 1107 \text{ мм} \quad (2.6)$$

$$b_1 = b_{дуо} + \Delta b_1 = 1107 + 12 = 1119 \text{ мм}$$

$$b_{в1} = b_1 - \Delta h_{в1} = 1119 - 10 = 1109 \text{ мм}$$

$$b_2 = b_{в1} + \Delta b_2 = 1109 + 9 = 1118 \text{ мм}$$

$$b_{в2} = b_2 - \Delta h_{в2} = 1118 - 10 = 1108 \text{ мм}$$

$$b_3 = b_{в2} + \Delta b_3 = 1108 + 6 = 1114 \text{ мм}$$

$$b_{в3} = b_3 - \Delta h_{в3} = 1114 - 9 = 1105 \text{ мм}$$

$$b_4 = b_3 + \Delta b_4 = 1105 + 5 = 1110 \text{ мм}$$

Визначаємо площі перерізу розкату в чорновій групі клітей

$$F_{дуо} = h_{дуо} \cdot b_{дуо} = 88 \cdot 1107 = 97416 \text{ мм}^2 \quad (2.7)$$

$$F_1 = h_1 \cdot b_1 = 61{,}6 \cdot 1119 = 68930{,}4 \text{ мм}^2$$

$$F_{в1} = h_1 \cdot b_{в1} = 61{,}6 \cdot 1109 = 68314{,}4 \text{ мм}^2$$

$$F_2 = h_2 \cdot b_2 = 43{,}1 \cdot 1118 = 48185{,}8 \text{ мм}^2$$

$$F_{в2} = h_2 \cdot b_{в1} = 43{,}1 \cdot 1108 = 47754{,}8 \text{ мм}^2$$

$$F_3 = h_3 \cdot b_3 = 30{,}1 \cdot 1114 = 33531{,}4 \text{ мм}^2$$

$$F_{в3} = h_3 \cdot b_{в3} = 30{,}1 \cdot 1105 = 33260{,}5 \text{ мм}^2$$

$$F_4 = h_4 \cdot b_4 = 21 \cdot 1110 = 23310 \text{ мм}^2$$

Визначаємо витягування в чорновій групі клітей

$$\mu_{дуо} = \frac{F_0}{F_{дуо}} = \frac{121000}{97416} = 1,24 \quad (2.8)$$

$$\mu_1 = \frac{F_{дуо}}{F_1} = \frac{97416}{68930,4} = 1,41$$

$$\mu_2 = \frac{F_1}{F_2} = \frac{68930,4}{48185,8} = 1,43$$

$$\mu_3 = \frac{F_2}{F_3} = \frac{48185,8}{33531,4} = 1,44$$

$$\mu_4 = \frac{F_3}{F_4} = \frac{33531,4}{23310} = 1,44$$

Визначаємо кути захоплення в чорновій групі клітей

$$\alpha_{дуо} = \sqrt{\frac{\Delta h_{дуо}}{R_{дуо}}} \cdot 57,3 = \sqrt{\frac{22}{450}} \cdot 57,3 = 12 \circ 6' \quad (2.9)$$

$$\alpha_1 = \sqrt{\frac{\Delta h_1}{R_1}} \cdot 57,3 = \sqrt{\frac{26,4}{470}} \cdot 57,3 = 11 \circ 9'$$

$$\alpha_2 = \sqrt{\frac{\Delta h_2}{R_2}} \cdot 57,3 = \sqrt{\frac{18,5}{470}} \cdot 57,3 = 11 \circ 3'$$

$$\alpha_3 = \sqrt{\frac{\Delta h_3}{R_3}} \cdot 57,3 = \sqrt{\frac{13}{295}} \cdot 57,3 = 13 \circ 3'$$

$$\alpha_4 = \sqrt{\frac{\Delta h_4}{R_4}} \cdot 57,3 = \sqrt{\frac{9,1}{295}} \cdot 57,3 = 11 \circ 7'$$

Визначаємо довжину розкату в чорновій групі клітей

$$L_{дуо} = L_o \cdot \mu_{дуо} = 4,7 \cdot 1,24 = 5,8м \quad (2.10)$$

$$L_1 = L_{дуо} \cdot \mu_1 = 5,8 \cdot 1,41 = 8,1 \text{ м}$$

$$L_2 = L_1 \cdot \mu_2 = 8,1 \cdot 1,43 = 11,5 \text{ м}$$

$$L_3 = L_2 \cdot \mu_3 = 11,5 \cdot 1,44 = 16,5 \text{ м}$$

$$L_4 = L_3 \cdot \mu_4 = 16,5 \cdot 1,44 = 23,7 \text{ м}$$

Визначаємо загальний коефіцієнт обтисків в чистовій групі клітей

$$\eta_{общ} = \frac{h_{10}}{h_4} = 4/21 = 0,19 \quad (2.11)$$

Визначаємо середній коефіцієнт обтисків в чистовій групі клітей

$$\eta_{ср} = \sqrt[6]{\eta_{общ}} = \sqrt[6]{0,19} = 0,758 \quad (2.12)$$

Розподіляємо обтиски в чистовій групі клітей

$$\eta_{общ} = 0,712 \cdot 0,723 \cdot 0,735 \cdot 0,758 \cdot 0,795 \cdot 0,837 = 0,19$$

Визначаємо товщину розкату в чистовій групі клітей по проходах

$$h_5 = h_4 \cdot \eta_5 = 21 \cdot 0,712 = 14,95 \text{ мм} \quad (2.13)$$

$$h_6 = h_5 \cdot \eta_6 = 14,95 \cdot 0,723 = 10,8 \text{ мм}$$

$$h_7 = h_6 \cdot \eta_7 = 10,8 \cdot 0,735 = 7,93 \text{ мм}$$

$$h_8 = h_7 \cdot \eta_8 = 7,93 \cdot 0,758 = 6,01 \text{ мм}$$

$$h_9 = h_8 \cdot \eta_9 = 6,01 \cdot 0,795 = 4,77 \text{ мм}$$

$$h_{10} = h_9 \cdot \eta_{10} = 4,77 \cdot 0,837 = 4 \text{ мм}$$

Визначаємо обтиски в чистовій групі клітей

$$\Delta h_5 = h_4 - h_5 = 21 - 14,95 = 6,05 \text{ мм} \quad (2.14)$$

$$\Delta h_6 = h_5 - h_6 = 14,95 - 10,8 = 4,15 \text{ мм}$$

$$\Delta h_7 = h_6 - h_7 = 10,8 - 7,93 = 2,87 \text{ мм}$$

$$\Delta h_8 = h_7 - h_8 = 7,93 - 6,01 = 1,92 \text{ мм}$$

$$\Delta h_9 = h_8 - h_9 = 6,01 - 4,77 = 1,24 \text{ мм}$$

$$\Delta h_{10} = h_9 - h_{10} = 4,77 - 4 = 0,77 \text{ мм}$$

Визначаємо величини відносних обтисків в чистовій групі клітей

$$E_n = \frac{\Delta h_n}{h_{n-1}} \cdot 100 \quad (2.15)$$

$$E_5 = \frac{\Delta h_5}{h_4} \cdot 100 = \frac{6,05}{21} \cdot 100\ \% = 28,8\%$$

$$E_6 = \frac{\Delta h_6}{h_5} \cdot 100\ \% = \frac{4,15}{14,95} \cdot 100\ \% = 27,7\ \%$$

$$E_7 = \frac{\Delta h_7}{h_6} \cdot 100\ \% = \frac{2,87}{10,8} \cdot 100\ \% = 26,5\ \%$$

$$E_8 = \frac{\Delta h_8}{h_7} \cdot 100\ \% = \frac{1,92}{7,93} \cdot 100\ \% = 24,2\ \%$$

$$E_9 = \frac{\Delta h_9}{h_8} \cdot 100\ \% = \frac{1,24}{6,01} \cdot 100\ \% = 20,6\ \%$$

$$E_{10} = \frac{\Delta h_{10}}{h_9} \cdot 100\ \% = \frac{0,77}{4,77} \cdot 100\ \% = 16,1\%$$

Визначаємо площу перерізу по проходах

$F_5 = h_5 \cdot b_5 = 14,95 \cdot 1110 = 16594,5$ мм^2 (2.16)

$F_6 = h_6 \cdot b_6 = 10,8 \cdot 1110 = 11988$ мм^2

$F_7 = h_7 \cdot b_7 = 7,93 \cdot 1110 = 8802,3$ мм^2

$F_8 = h_8 \cdot b_8 = 6,01 \cdot 1110 = 6671,1$ мм^2

$F_9 = h_9 \cdot b_9 = 4,77 \cdot 1110 = 5294,7$ мм^2

$F_{10} = h_{10} \cdot b_{10} = 4 \cdot 1110 = 4440$ мм^2

Визначаємо витягування в чистовій групі клітей

$$\mu_n = \frac{F_{n-1}}{F_n} \quad (2.17)$$

$$\mu_5 = \frac{F_4}{F_5} = \frac{23310}{16594,5} = 1,4$$

$$\mu_6 = \frac{F_5}{F_6} = \frac{16594,5}{11988} = 1,38$$

$$\mu_7 = \frac{F_6}{F_7} = \frac{11988}{8802,3} = 1,36$$

$$\mu_8 = \frac{F_7}{F_8} = \frac{8802,3}{6671,1} = 1,31$$

$$\mu_9 = \frac{F_8}{F_9} = \frac{6671,1}{5294,7} = 1,25$$

$$\mu_{10} = \frac{F_9}{F_{10}} = \frac{5294,7}{4440} = 1,19$$

Визначаємо кути захоплення в чистовій групі клітей

$$\alpha_n = \sqrt{\frac{\Delta h_n}{R_n}} \cdot 57,3 \quad (2.18)$$

де R = 310 мм – радіус робочих валків чистової групи

$$\alpha_5 = \sqrt{\frac{\Delta h_5}{R_5}} \cdot 57,3 = \sqrt{\frac{6,05}{310}} \cdot 57,3 = 8\ ^\circ\ 11^{/}$$

$$\alpha_6 = \sqrt{\frac{\Delta h_6}{R_6}} \cdot 57{,}3 = \sqrt{\frac{4{,}15}{310}} \cdot 57{,}3 = 6^\circ 6'$$

$$\alpha_7 = \sqrt{\frac{\Delta h_7}{R_7}} \cdot 57{,}3 = \sqrt{\frac{2{,}87}{310}} \cdot 57{,}3 = 5^\circ 9'$$

$$\alpha_8 = \sqrt{\frac{\Delta h_8}{R_8}} \cdot 57{,}3 = \sqrt{\frac{1{,}92}{310}} \cdot 57{,}3 = 4^\circ 33'$$

$$\alpha_9 = \sqrt{\frac{\Delta h_9}{R_9}} \cdot 57{,}3 = \sqrt{\frac{1{,}24}{310}} \cdot 57{,}3 = 3^\circ 79'$$

$$\alpha_{10} = \sqrt{\frac{\Delta h_{10}}{R_{10}}} \cdot 57{,}3 = \sqrt{\frac{0{,}77}{310}} \cdot 57{,}3 = 2^\circ 36'$$

Визначаємо довжину розкату в чистовій групі клітей

$L_5 = L_4 \cdot \mu_5 = 23{,}7 \cdot 1{,}4 = 33{,}1$ м (2.19)

$L_6 = L_5 \cdot \mu_6 = 33{,}1 \cdot 1{,}38 = 45{,}6$ м

$L_7 = L_6 \cdot \mu_7 = 45{,}6 \cdot 1{,}36 = 62$ м

$L_8 = L_7 \cdot \mu_8 = 62 \cdot 1{,}31 = 81{,}2$ м

$L_9 = L_8 \cdot \mu_9 = 81{,}2 \cdot 1{,}25 = 101{,}5$ м

$L_{10} = L_9 \cdot \mu_{10} = 101{,}5 \cdot 1{,}19 = 120{,}7$ м

Визначаємо швидкість прокатки

- в чорновій групі клітей:

$$\nu_{\text{дуо}} = \frac{\pi D_{\text{дуо}} n_{\text{дуо}}}{60} = \frac{3{,}14 \cdot 0{,}9 \cdot 20}{60} = 0{,}94 \text{ м/с} \quad (2.20)$$

$$\nu_1 = \frac{\pi D_1 n_1}{60} = \frac{3{,}14 \cdot 0{,}94 \cdot 22{,}2}{60} = 1{,}09 \text{ м/с}$$

$$\nu_2 = \frac{\pi D_2 n_2}{60} = \frac{3{,}14 \cdot 0{,}85 \cdot 25{,}5}{60} = 1{,}13 \text{ м/с}$$

$$\nu_3 = \frac{\pi D_3 n_3}{60} = \frac{3{,}14 \cdot 0{,}593 \cdot 50}{60} = 1{,}54 \text{ м/с}$$

$$\nu_4 = \frac{\pi D_4 n_4}{60} = \frac{3{,}14 \cdot 0{,}593 \cdot 65}{60} = 2 \text{м/с}$$

- в чистовій групі клітей, з закону постійності секундних об’ємів :

$c = h_{10} \cdot V_{10} = 0{,}004 \cdot 7{,}5 = 0{,}03$ м^2/с (2.21)

$$\nu_5 = \frac{c}{h_5} = \frac{0{,}03}{0{,}01495} = 1{,}86 \text{ м/с}$$

$$\nu_6 = \frac{c}{h_6} = \frac{0{,}03}{0{,}0108} = 2{,}66 \text{ м/с}$$

$$\nu_7 = \frac{c}{h_7} = \frac{0{,}03}{0{,}00793} = 3{,}64 \text{ м/с}$$

$$\nu_8 = \frac{c}{h_8} = \frac{0{,}03}{0{,}00601} = 4{,}85 \text{ м/с}$$

$$\nu_9 = \frac{c}{h_9} = \frac{0{,}03}{0{,}00477} = 6{,}04 \text{ м/с}$$

$\nu_{10} = 7{,}5$ м/с

Температура прокатки по клітям становить:

$t_{дуо.} = 1250$ ºС, $t_1 = 1230$ ºС, $t_2 = 1210$ ºС, $t_3 = 1190$ ºС, $t_4 = 1150$ ºС, $t_5 = 1100$ ºС, $t_6 = 1060$ ºС, $t_7 = 1005$ ºС, $t_8 = 950$ ºС, $t_9 = 900$ ºС, $t_{10} = 850$ ºС.

Таблиця 3.2 - Результати розрахунку режиму обтисків

Номер клітей	h_o, мм	b_o, мм	h_1, мм	b_1, мм	Δh, мм	Δb, мм	μ	$\nu, \frac{м}{с}$	η	L, м
Дуо	110	1100	88	1107	22	7	1,24	0,94	–	5,8
1	88	1107	61,6	1119	20,3	12	1,29	1,09	–	8,1
2	61,6	1109	43,1	1118	18,3	9	1,37	1,13	–	11,5
3	43,1	1108	30,1	1114	15,9	6	1,47	1,54	–	16,5
4	30,1	1105	21	1110	12,5	5	1,59	2	–	23,7
5	21	1110	14,95	1110	6,05	–	1,4	1,86	0,712	33,1
6	14,95	1110	10,8	1110	4,15	–	1,38	2,66	0,723	45,6
7	10,8	1110	7,93	1110	2,87	–	1,36	3,64	0,735	62
8	7,93	1110	6,01	1110	1,92	–	1,31	4,85	0,758	81,2
9	6,01	1110	4,77	1110	1,24	–	1,25	6,04	0,795	101,5
10	4,77	1110	4	1110	0,77	–	1,19	7,5	0,837	120,7

2.2 Розрахунок зусилля прокатки

Розрахунок зусиль прокатки проводимо за методом А.Ф.Головіна, В.А. Тягунова [1]

Зусилля прокатки визначаємо за формулою:

$$P = p_{ср} \cdot F \quad (2.22)$$

де рср – контактний тиск;

F – площа контактної поверхні

Визначаємо коефіцієнт тертя

$$f_з = k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot (1{,}05 - 0{,}0005 \cdot t) \quad (2.23)$$

де k_1 – коефіцієнт, який враховує матеріал валків

для стальних валків k_1=1,0 ; для чавунних валків k_1=0,8;

k_2 – коефіцієнт, який враховує вплив колової швидкості валків

k_3 – коефіцієнт, який враховує вплив хімічного составу прокатуваємої сталі.

Для сталі А-36 k_3 = 1; [2]

За графіком визначаємо коефіцієнт, який враховує швидкість прокатки k_2:

$k_{2\text{-дуо}}$=1,1 $k_{2\text{-6}}$=0,915

$k_{2\text{-1}}$=1,01 $k_{2\text{-7}}$=0,8

$k_{2\text{-2}}$=1 $k_{2\text{-8}}$=0,64

$k_{2\text{-3}}$=0,98 $k_{2\text{-9}}$=0,58

$k_{2\text{-4}}$=0,965 $k_{2\text{-10}}$=0,52

$k_{2\text{-5}}$=0,987

Температура прокатки по клітям становить:

$t_{дуо.}$ = 1250 ºС t_6= 1060 º

t_1= 1230 ºС t_7= 1005 ºС

t_2= 1210 ºС t_8= 950 ºС

t_3= 1190 ºС t_9= 900 ºС

t_4= 1150 ºС t_{10} = 850 ºС

t_5= 1100 ºС

t_6= 1060 ºС

$f_{дуо} = k_1 \cdot k_{2\text{-дуо}} \cdot k_3 \cdot (1{,}05 - 0{,}0005 \cdot t_{дуо}) = 1{,}0 \cdot 1{,}1 \cdot 1\ (1{,}05 - 0{,}0005 \cdot 1250) = 0{,}4675$

$f_1 = k_1 \cdot k_{2\text{-}1} \cdot k_3 \cdot (1{,}05 - 0{,}0005 \cdot t_1) = 1{,}0 \cdot 1{,}01 \cdot 1\ (1{,}05 - 0{,}0005 \cdot 1230) = 0{,}4394$

$f_2 = k_1 \cdot k_{2\text{-}2} \cdot k_3 \cdot (1{,}05 - 0{,}0005 \cdot t_2) = 1{,}0 \cdot 1 \cdot 1\ (1{,}05 - 0{,}0005 \cdot 1210) = 0{,}445$

$f_3 = k_1 \cdot k_{2\text{-}3} \cdot k_3 \cdot (1{,}05 - 0{,}0005 \cdot t_3) = 0{,}8 \cdot 0{,}98 \cdot 1\ (1{,}05 - 0{,}0005 \cdot 1190) = 0{,}3567$

$f_4 = k_1 \cdot k_{2\text{-}4} \cdot k_3 \cdot (1{,}05 - 0{,}0005 \cdot t_4) = 0{,}8 \cdot 0{,}965 \cdot 1\ (1{,}05 - 0{,}0005 \cdot 1150) = 0{,}3667$

$f_5 = k_1 \cdot k_{2\text{-}5} \cdot k_3 \cdot (1{,}05 - 0{,}0005 \cdot t_5) = 0{,}8 \cdot 0{,}987 \cdot 1\ (1{,}05 - 0{,}0005 \cdot 1100) = 0{,}3948$

$f_6 = k_1 \cdot k_{2\text{-}6} \cdot k_3 \cdot (1{,}05 - 0{,}0005 \cdot t_6) = 0{,}8 \cdot 0{,}915 \cdot 1\ (1{,}05 - 0{,}0005 \cdot 1060) = 0{,}3806$

$f_7 = k_1 \cdot k_{2\text{-}7} \cdot k_3 \cdot (1{,}05 - 0{,}0005 \cdot t_7) = 0{,}8 \cdot 0{,}8 \cdot 1\ (1{,}05 - 0{,}0005 \cdot 1005) = 0{,}3504$

$f_8 = k_1 \cdot k_{2\text{-}8} \cdot k_3 \cdot (1{,}05 - 0{,}0005 \cdot t_8) = 0{,}8 \cdot 0{,}64 \cdot 1\ (1{,}05 - 0{,}0005 \cdot 950) = 0{,}2944$

$f_9 = k_1 \cdot k_{2\text{-}9} \cdot k_3 \cdot (1{,}05 - 0{,}0005 \cdot t_9) = 0{,}8 \cdot 0{,}58 \cdot 1\ (1{,}05 - 0{,}0005 \cdot 900) = 0{,}2984$

$f_{10} = k_1 \cdot k_{2\text{-}10} \cdot k_3 \cdot (1{,}05 - 0{,}0005 \cdot t_{10}) = 0{,}8 \cdot 0{,}52 \cdot 1\ (1{,}05 - 0{,}0005 \cdot 850) = 0{,}26$

Визначаємо довжину контактної поверхні

$$\ell_{\text{дуо}} = \sqrt{R_{дуо} \cdot \Delta h_{дуо}} = \sqrt{0{,}45 \cdot 0{,}022} = 0{,}1\text{м} \qquad (2.24)$$

$\ell_1 = \sqrt{R_1 \cdot \Delta h_1} = \sqrt{0{,}47 \cdot 0{,}0203} = 0{,}097\text{м}$

$\ell_2 = \sqrt{R_2 \cdot \Delta h_2} = \sqrt{0{,}425 \cdot 0{,}0183} = 0{,}088\text{м}$

$\ell_3 = \sqrt{R_3 \cdot \Delta h_3} = \sqrt{0{,}295 \cdot 0{,}0159} = 0{,}068\text{м}$

$\ell_4 = \sqrt{R_4 \cdot \Delta h_4} = \sqrt{0{,}295 \cdot 0{,}0125} = 0{,}060\text{м}$

$\ell_5 = \sqrt{R_5 \cdot \Delta h_5} = \sqrt{0{,}31 \cdot 0{,}00605} = 0{,}043\text{м}$

$\ell_6 = \sqrt{R_6 \cdot \Delta h_6} = \sqrt{0{,}31 \cdot 0{,}00415} = 0{,}035\text{м}$

$\ell_7 = \sqrt{R_7 \cdot \Delta h_7} = \sqrt{0{,}31 \cdot 0{,}00287} = 0{,}029\text{м}$

$\ell_8 = \sqrt{R_8 \cdot \Delta h_8} = \sqrt{0{,}31 \cdot 0{,}00192} = 0{,}024\text{м}$

$\ell_9 = \sqrt{R_9 \cdot \Delta h_9} = \sqrt{0{,}31 \cdot 0{,}00124} = 0{,}019\text{м}$

$\ell_{10} = \sqrt{R_{10} \cdot \Delta h_{10}} = \sqrt{0{,}31 \cdot 0{,}00077} = 0{,}015\text{м}$

Визначаємо коефіцієнт, який враховує вплив зовнішнього тертя

$$\eta'_{\sigma} = 1 + f\left(\frac{\ell}{h_c} - 1\right) \qquad (2.25)$$

$\eta'_{\sigma\ \text{дуо}} = 1 + 0{,}4675(0{,}1/0{,}099 - 1) = 1{,}004$

$\eta'_{\sigma\ 1} = 1 + 0{,}4394(0{,}097/0{,}0778 - 1) = 1{,}1$

$\eta'_{\sigma\ 2} = 1 + 0{,}4450(0{,}088/0{,}0585 - 1) = 1{,}22$

$\eta'_{\sigma\ 3} = 1 + 0{,}3567(0{,}068/0{,}04145 - 1) = 1{,}23$

$\eta'_{\sigma\ 4} = 1 + 0{,}3667(0{,}06/0{,}02725 - 1) = 1{,}44$

$\eta'_{\sigma 5} = 1 + 0{,}3948(0{,}043/0{,}01797 - 1) = 1{,}54$

$\eta'_{\sigma 6} = 1 + 0{,}3806(0{,}035/0{,}01287 - 1) = 1{,}65$

$\eta'_{\sigma 7} = 1 + 0{,}3504(0{,}029/0{,}00936 - 1) = 1{,}73$

$\eta'_{\sigma 8} = 1 + 0{,}2944(0{,}024/0{,}00697 - 1) = 1{,}71$

$\eta'_{\sigma 9} = 1 + 0{,}2984(0{,}019/0{,}00539 - 1) = 1{,}75$

$\eta'_{\sigma 10} = 1 + 0{,}26(0{,}015/0{,}00438 - 1) = 1{,}63$

Визначаємо коефіцієнт, який враховує температуру прокатки. Для сталі А-36 $t_{пл.} = 1600$ ºС и запас міцності $\sigma_в = 440$ МН/ м^2;

Так як $t > (t_{пл.} - 575^º)$, а саме $1250^º > (1600^º - 575^º)$,то

$$k_t = (tпл - 75^\circ - t)/ 1500^\circ \qquad (2.26)$$

$$k_{t\,дуо} = \frac{1600^\circ - 75^\circ - 1250^\circ}{1500^\circ} = 0{,}18$$

$$k_{t\,1} = \frac{1600^\circ - 75^\circ - 1230^\circ}{1500^\circ} = 0{,}2$$

$$k_{t\,2} = \frac{1600^\circ - 75^\circ - 1210^\circ}{1500^\circ} = 0{,}21$$

$$k_{t\,3} = \frac{1600^\circ - 75^\circ - 1190^\circ}{1500^\circ} = 0{,}22$$

$$k_{t\,4} = \frac{1600^\circ - 75^\circ - 1150^\circ}{1500^\circ} = 0{,}25$$

$$k_{t\,5} = \frac{1600^\circ - 75^\circ - 1100^\circ}{1500^\circ} = 0{,}28$$

$$k_{t\,6} = \frac{1600^\circ - 75^\circ - 1060^\circ}{1500^\circ} = 0{,}31$$

$$k_{t\,7} = \frac{1600^\circ - 75^\circ - 1005^\circ}{1500^\circ} = 0{,}35$$

$$k_{t\,8} = \frac{1600^\circ - 75^\circ - 950^\circ}{1500^\circ} = 0{,}42$$

якщо $t < (t_{пл.} - 575^º)$, то $k_t = \left(\frac{tпл - t}{1000^\circ}\right)^2$ (2.27)

$$k_{t9} = \left(\frac{1600^\circ - 900^\circ}{1000^\circ}\right)^2 = 0{,}49$$

$$k_{t10} = \left(\frac{1600° - 850°}{1000°} \right)^2 = 0,56$$

Визначаємо опір деформації

$$k = k_t \cdot \sigma_в \qquad (2.28)$$

$k_{дуо} = 0,18 \cdot 440 = 64$ МН/ м^2

$k_1 = 0,2 \cdot 440 = 68$ МН/ м^2

$k_2 = 0,21 \cdot 440 = 73,5$ МН/ м^2

$k_3 = 0,22 \cdot 440 = 78,2$ МН/ м^2

$k_4 = 0,25 \cdot 440 = 87,5$ МН/ м^2

$k_5 = 0,28 \cdot 440 = 99$ МН/ м^2

$k_6 = 0,31 \cdot 440 = 108,5$ МН/ м^2

$k_7 = 0,35 \cdot 440 = 124$ МН/ м^2

$k_8 = 0,42 \cdot 440 = 148$ МН/ м^2

$k_9 = 0,49 \cdot 440 = 171,5$ МН/ м^2

$k_{10} = 0,56 \cdot 440 = 197$ МН/ м^2

Визначаємо контактний тиск

$$p_{ср.} = k_n \cdot \eta'_{\sigma n} \qquad (2.29)$$

$p_{ср\ дуо} = k_{дуо} \cdot \eta'_{\sigma\ дуо} = 64 \cdot 1,004 = 64,2$ МН/ м^2

$p_{ср\ 1} = k_{n1} \cdot \eta'_{\sigma\ 1} = 68 \cdot 1,1 = 74,8$ МН/ м^2

$p_{ср\ 2} = k_2 \cdot \eta'_{\sigma\ 2} = 73,5 \cdot 1,22 = 89,6$ МН/ м^2

$p_{ср\ 3} = k_3 \cdot \eta'_{\sigma\ 3} = 78,2 \cdot 1,23 = 96,1$ МН/ м^2

$p_{ср\ 4} = k_4 \cdot \eta'_{\sigma\ 4} = 87,5 \cdot 1,44 = 126$ МН/ м^2

$p_{ср\ 5} = k_5 \cdot \eta'_{\sigma\ 5} = 99 \cdot 1,54 = 152,4$ МН/ м^2

$p_{ср\ 6} = k_6 \cdot \eta'_{\sigma\ 6} = 108,5 \cdot 1,65 = 179$ МН/ м^2

$p_{ср\ 7} = k_7 \cdot \eta'_{\sigma\ 7} = 124 \cdot 1,73 = 214,5$ МН/ м^2

$p_{ср\ 8} = k_8 \cdot \eta'_{\sigma\ 8} = 148 \cdot 1,71 = 253$ МН/ м^2

$p_{ср\ 9} = k_9 \cdot \eta'_{\sigma\ 9} = 171,5 \cdot 1,75 = 300$ МН/ м^2

$p_{ср\ 10} = k_{10} \cdot \eta'_{\sigma\ 10} = 197 \cdot 1,63 = 321,1$ МН/ м^2

Визначаємо площу контактної поверхні

$$F_{дуо} = \frac{b_о + b_{дуо}}{2} \cdot \ell_{дуо} = \frac{1,1 + 1,107}{2} \cdot 0,1 = 0,11 \text{ м}^2 \quad (2.30)$$

$$F_1 = \frac{b_{дуо} + b_1}{2} \cdot \ell_1 = \frac{1,107 + 1,1148}{2} \cdot 0,097 = 0,107 \text{ м}^2$$

$$F_2 = \frac{b_1 + b_2}{2} \cdot \ell_2 = \frac{1,1048 + 1,1134}{2} \cdot 0,088 = 0,097 \text{ м}^2$$

$$F_3 = \frac{b_2 + b_3}{2} \cdot \ell_3 = \frac{1,1034 + 1,1111}{2} \cdot 0,068 = 0,075 \text{ м}^2$$

$$F_4 = \frac{b_3 + b_4}{2} \cdot \ell_4 = \frac{1,1081 + 1,110}{2} \cdot 0,060 = 0,066 \text{ м}^2$$

$F_5 = b_5 \cdot \ell_5 = 1,110 \cdot 0,043 = 0,047$ м^2

$F_6 = b_6 \cdot \ell_6 = 1,110 \cdot 0,035 = 0,038$ м^2

$F_7 = b_7 \cdot \ell 7 = 1,110 \cdot 0,029 = 0,032$ м^2

$F_8 = b_8 \cdot \ell_8 = 1,110 \cdot 0,024 = 0,026$ м^2

$F_9 = b_9 \cdot \ell_9 = 1,110 \cdot 0,019 = 0,021$ м^2

$F_{10} = b_{10} \cdot \ell_{10} = 1,110 \cdot 0,015 = 0,016$ м^2

Визначаємо зусилля прокатки

$$P = p_{ср} \cdot F \quad (2.31)$$

$P_{дуо} = p_{ср\ дуо} \cdot F_{дуо} = 64,2 \cdot 0,11 = 7,06$МН

$P_1 = p_1 \cdot F_1 = 74,8 \cdot 0,107 = 8$МН

$P_2 = p_2 \cdot F_2 = 89,6 \cdot 0,097 = 8,69$МН

$P_3 = p_3 \cdot F_3 = 96,1 \cdot 0,075 = 7,2$МН

$P_4 = p_4 \cdot F_4 = 126 \cdot 0,066 = 8,3$МН

$P_5 = p_5 \cdot F_5 = 152,4 \cdot 0,047 = 7,16$МН

$P_6 = p_6 \cdot F_6 = 179 \cdot 0,038 = 6,8$МН

$P_7 = p_7 \cdot F_7 = 214,5 \cdot 0,032 = 6,73$МН

$P_8 = p_8 \cdot F_8 = 253 \cdot 0,026 = 6,57$МН

$P_9 = p_9 \cdot F_9 = 300 \cdot 0,021 = 6,3$МН

$P_{10} = p_{10} \cdot F_{10} = 321,1 \cdot 0,016 = 5,13$МН

3.3 Розрахунок продуктивності стана

Розрахунок продуктивності стана проводимо за формулою:

$$A_{час} = \frac{3600 \cdot G \cdot k_2}{T \cdot k_1} \quad (2.32)$$

$t_п = 16$ с – час пауз

$к_1$ – витратний коефіцієнт, для сталі А36 $к_1 = 1,063$

$к_2$ – коефіцієнт використання стана;

$$к_2 = \frac{П_{Факт}}{П_{План}} = \frac{474,7}{513,5} = 0,92$$

Визначаємо масу сляба

$G=V\cdot \rho$, де V – об'єм сляба; ρ - густина металу

$V= h_o \cdot b_o \cdot l_o = 0,110 \cdot 1,100 \cdot 4,7 = 0,56$ м^3 (2.33)

$G= 0,56 \cdot 7,85 = 4,39$ т

Визначаємо час прокатки в десятій кліті

$t_{м10}= l_{10}/v_{10}= 120,7/7,5 = 16$ с (2.34)

Визначаємо ритм прокатки

$T= t_м + t_п = 16+16 = 32$ с (2.35)

Визначаємо годинну продуктивність

$$A_{час} = \frac{3600 \cdot 4,39 \cdot 0,92}{32 \cdot 1,063} = 437 \text{ т/г}$$

Визначаємо середньогодинну продуктивність

$$Аср.час = \frac{1}{\frac{\%н}{Ачас} + \frac{\%лег}{Ачас,лег} + \frac{\%рял}{Ачас,ряд} + \frac{\%др,м}{Ачас,др}} \quad (2.36)$$

$$Аср.час = \frac{1}{\frac{0,09}{437} + \frac{0,70}{320} + \frac{0,05}{500} + \frac{0,23}{400}} = 490т/г$$

3 МЕХАНІЧНА ЧАСТИНА

3.1 Опис конструкції кліті, окремих її деталей

Основним елементом будь-якого прокатного стана є валки, які виконують безпосередню деформацію металу в процесі прокатування. Валки обертаються в підшипниках, установлених у робочій кліті, а їх привід здійснюється від електродвигуна через систему передавальних механізмів. Сукупність обладнання, що забезпечує обертання валків і сприймає навантаження та крутні моменти, які виникають під час пластичної деформації металу, утворює робочу лінію прокатної кліті (рис. 3.1).

До складу робочої лінії входять три основні групи обладнання: робоча кліть, передавальні механізми та головний електропривод.

Робоча кліть являє собою несучу конструкцію, яка складається з двох масивних литих сталевих станин, закріплених на фундаменті за допомогою анкерних болтів. У станинах розміщуються подушки з підшипниками та валками, а також механізми регулювання положення верхнього валка, пристрої його фіксації, напрямні для подачі металу та інші допоміжні вузли.

Конструкція передавальних механізмів залежить від типу та призначення прокатного стана. На потужних станах, таких як обтискні та товстолистові, а також на високошвидкісних агрегатах, застосовується індивідуальний привід робочих валків від окремих електродвигунів. У цьому випадку передача крутного моменту здійснюється через універсальні шпинделі, проміжні вали та муфти. Така схема забезпечує зручність технічного обслуговування та ремонту електродвигуна без необхідності демонтажу окремих елементів приводу.

На більшості прокатних станів використовується груповий привід валків через шестеренну кліть із передаточним числом, близьким до одиниці. У такій компоновці між електродвигуном і робочою кліттю послідовно розташовуються моторна муфта, шестеренна кліть та універсальні шпинделі. Якщо частота

обертання електродвигуна не відповідає необхідній швидкості обертання валків, у приводну систему додатково включають редуктор і зубчасті муфти, що забезпечують узгодження кінематичних параметрів приводу.

Головний привід прокатного стана, як правило, виконується на базі спеціалізованих металургійних електродвигунів із повітряною системою охолодження. Для станів, де необхідне плавне регулювання швидкості прокатування, застосовують двигуни постійного струму, які живляться від сучасних перетворювачів або випрямлячів, що забезпечують високу точність керування технологічним процесом.

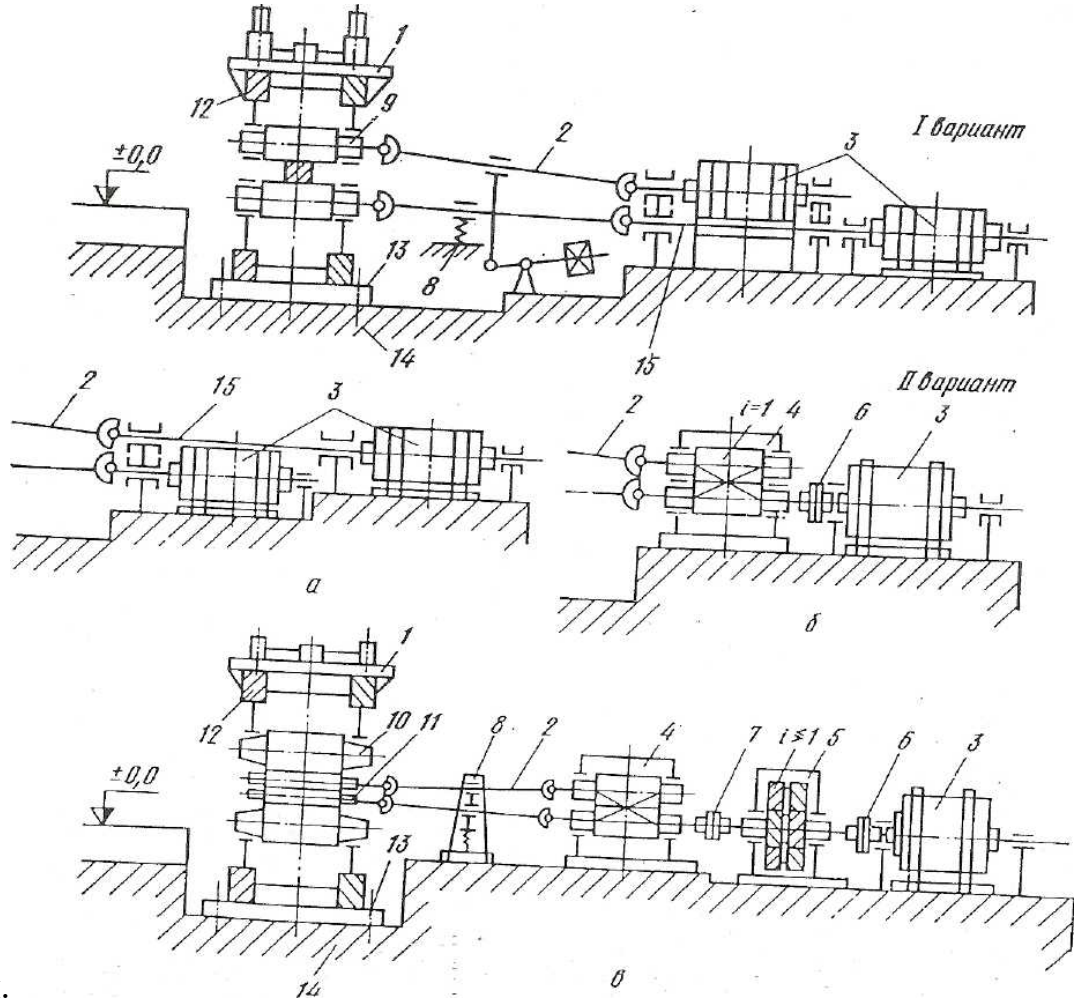


Рисунок 3.1 – Схема головних ліній робочій кліті з приводом валків: а – від головних електродвигунів; б – від електродвигуна через шестирьону кліть; в – від електродвигуна через редуктор та шестирьону кліть.

3.2 Розрахунок валків на міцність

Розрахунок ведеться за зусиллям в 4 – й кліті, Р = 8,3МН

Визначаємо момент прокатки

$M_{пр} = P\psi\sqrt{R \cdot \Delta h}$ (3.1)

$M_{пр}$ – момент прокатки

де ψ = 0,38 – 0,44 – коефіцієнт, що визначає точку прикладання сили;

приймаємо ψ = 0,4

$M_{пр} = 8,3 \cdot 0,4\sqrt{0,31 \cdot 0,012} = 0,2$ МН·м

Визначаємо момент тертя

$M_{тр} = Pd_p f_n \frac{D_p}{D_{оп}}$ (3.2)

$M_{тр}$ - момент тертя

де $d_{оп}$- діаметр шийки опорного валка, м

f_n - коефіцієнт тертя в підшипниках опорних валків, f_n = 0,003 – 0,005

D_p = 0,62; $D_{оп}$ = 1,24 – діаметр бочок, відповідно робочого й опорного валків, м

$M_{тр} = 8,3 \cdot 0,395 \cdot 0,004 \frac{0,62}{1,24} = 0,006$ МН·м

Визначаємо обертаючий момент на робочому валку

$M_{об} = M_{пр} + M_{тр}$

$M_{об} = 0,2 + 0,006 = 0,206$ МН·м

Визначаємо відстань між опорами робочих валків

$a^{/} = \ell^{/}_{б} + 1/2\ell^{/}_{ш} + 1/2\ell^{/}_{ш}$ (3.3)

де $l^{/}_{б}$= 1680 – довжина бочки

$\ell^{/}_{ш} = (0,65 – 0,7) \cdot D_p$

$\ell^{/}_{ш} = 0,65 \cdot 0,62 = 0,4$ м

$a^{/} = 1,68 + 0,4 = 2,1$м

Визначаємо відстань між опорами опорних валків

$a = \ell_{б} + 1/2\ell_{ш}$ (3.4)

де $\ell_б = 1680$ – довжина бочки

довжина шейки опорного валка

$\ell_ш = (0,65 \div 0,7) \cdot D_{оп}$

$\ell_ш = 0,65 \cdot 1,24 = 0,8$ м

а = 1,68+0,8 = 2,5 м

Визначаємо коефіцієнт розподілу навантаження

$$К = \left(\frac{D_{оп}}{D_р}\right)^4 \quad (3.5)$$

$$К = \left(\frac{1,24}{0,62}\right)^4 = 16$$

Визначаємо зусилля, яке прикладається на робочий валок

$$P_р = \frac{P}{(1+K)} \quad (3.6)$$

$$P_р = \frac{8,3}{(1+16)} = 0,488 \text{ МН}$$

Визначаємо зусилля, яке прикладається на опорний валок

$$P_{оп} = P - P_р \quad (3.7)$$

$P_{оп} = 8,3 - 0,488 = 7,81$ МН

Визначаємо згинаючий момент по середині бочки робочого валка

$$M_р = P_р \cdot L^2/8 = P_р \cdot a'/8 \quad (3.8)$$

$$M_р = \frac{0,488 \cdot 2,1}{8} = 0,16 \text{ МН}\cdot\text{м}$$

Визначаємо максимальну згинаючу напругу в середині бочки робочого валка

$$\delta = M_р/W_х = M_р/0,1 \cdot D_р^3 \quad (3.9)$$

$$\delta = \frac{0,16}{0,1 \cdot 0,62^3} = 6,67 \text{ МПа}$$

Визначаємо згинаючий момент у небезпечному перерізі шийки робочого валка

$$M_ш = P_р(a'-L)/4 \quad (3.10)$$

$$M_{ш} = \frac{0,488(2,1 - 1,68)}{4} = 0,051 МН \cdot м$$

Визначаємо згинаючу напругу в небезпечному перерізі шийки робочого валка

$$\delta_{ш} = M_{ш}/W_{ш} = M_{ш}/0,1 \cdot d_{р}^{3} \quad (3.11)$$

$$\delta_{ш} = \frac{0,051}{0,1 \cdot 0,395^{3}} = 8,5 МПа$$

Визначаємо дотичне напруження при обертанні в небезпечному перерізі шийки робочого валка

$$\tau_{ш} = M_{об}/W_{рш} = M_{об}/0,2 \cdot d_{р}^{3} \quad (3.12)$$

$$\tau_{ш} = \frac{0,206}{0,2 \cdot 0,395^{3}} = 16,7 МПа$$

Визначаємо результуючу напругу в небезпечному перерізі шийки робочого валка

$$\delta_{рез} = \sqrt{\delta_{ш}^{2} + 3 \cdot \tau_{ш}^{2}} = \sqrt{8,5^{2} + 3 \cdot 16,7^{2}} = 30,48 МПа \quad (3.13)$$

Визначаємо запас міцності робочого валка

$$n_{р} = \frac{\delta_{в}}{\delta_{рез}} \quad (3.14)$$

де $\delta_{В} = 400$ МПа – запас міцності чавунних валків

$$n_{р} = \frac{400}{30,48} = 13,12$$

Визначаємо згинаючий момент по середині бочки опорного валка

$$M_{оп} = \frac{P_{оп}}{4}\left(a - \frac{b}{2}\right) \quad (3.15)$$

$$M_{оп} = \frac{7,81}{4}\left(2,5 - \frac{1,108}{2}\right) = 3,8 МН \cdot м$$

Визначаємо згинаючу напругу в середині бочки опорного валка

$$\delta_{оп} = M_{оп}/W_{оп} = M_{оп}/0,1 \cdot D_{оп}^{3} \quad (3.16)$$

$$\delta_{оп} = \frac{3,8}{0,1 \cdot 1,24^{3}} = 20 МПа$$

Визначаємо згинаючий момент у небезпечному перерізі шийки опорного валка

$$M_{ш.\,оп} = P_{оп}(a - \ell)/4 \qquad (3.17)$$

$$M_{ш.\,оп} = \frac{7{,}81(2{,}5 - 1{,}68)}{4} = 1{,}6 \text{ МН·м}$$

Визначаємо напругу вигину в небезпечному перерізі шийки опорного валка

$d_ш = 0{,}65$ м

$$\delta_{ш.оп} = M_{ш.оп}/0{,}1 \cdot d_ш^3 \qquad (3.18)$$

$$\delta_{ш.оп} = \frac{1{,}6}{0{,}1 \cdot 0{,}65^3} = 59 \text{ МПа}$$

Визначаємо запас міцності опорного валка

$$n_{оп} = \frac{\delta_в}{\delta_{ш.оп}} \qquad (3.19)$$

де $\delta_в = 600$ МПа – запас міцності сталевих валків

$$n_{оп} = \frac{600}{59} = 10{,}2$$

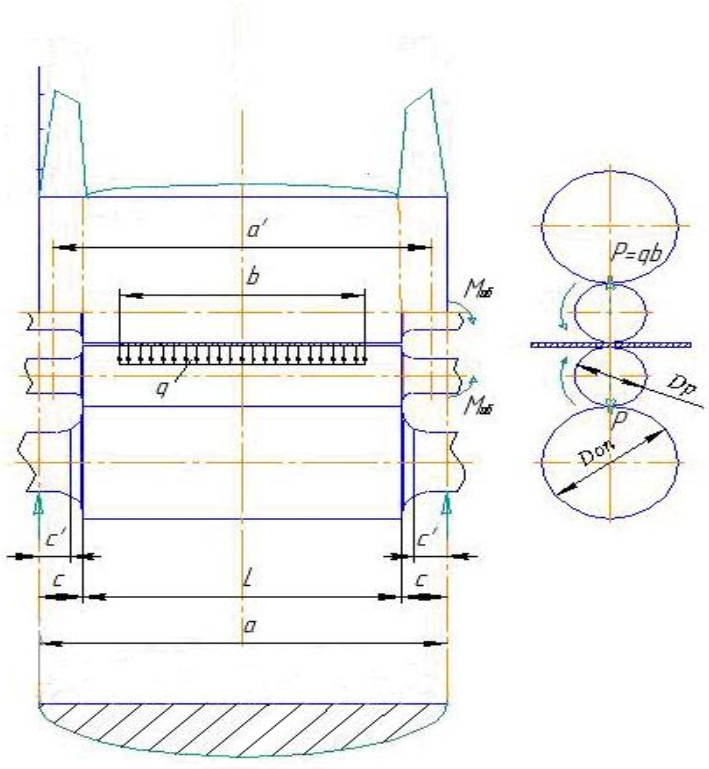


Рисунок 3.2 – Епюра моментів

3.3 Розрахунок на міцність станини

Побудова нейтральної лінії А-А

Площа перетину

$$F = BH - b_1 h_1 - b_2 h_2 = F_1 - F_2 - F_3 =$$
$$= 2{,}1 \cdot 1{,}17 - 0{,}67 \cdot 0{,}46 - 0{,}44 \cdot 0{,}71 = 1{,}9 M^2$$

Статичний момент

$$S = F_1 \frac{H}{2} - F_2 \frac{h_1}{2} - F_3 \left(\frac{h_2}{2} + h_1 \right) =$$
$$= 2{,}5 \cdot 0{,}585 - 0{,}3 \cdot 0{,}23 - 0{,}3 \cdot 0{,}815 = 1{,}149 м^3;$$

Ордината центра ваги

$$y_c = \frac{S}{F} = \frac{1{,}149}{1{,}9} 0{,}6 м = 600 мм;$$

$$У_A = У_1 - У_2 - У_3;$$

$$У_1 = BH \left(\frac{H^2}{12} + \left(y_c - \frac{H}{2} \right)^2 \right) = 2{,}5 \left(\frac{1{,}17^2}{12} + (0{,}6 - 0{,}585)^2 \right) = 0{,}29 м^4$$

$$У_2 = b_1 h_1 \left(\frac{h_1^2}{12} + \left(y_c - \frac{h_1}{2} \right)^2 \right) = 0{,}3 \left(\frac{0{,}46^2}{12} + (0{,}6 - 0{,}23)^2 \right) = 0{,}05 м^4$$

$$У_3 = b_2 h_2 \left(\frac{h_2^2}{12} + \left(y_c - \frac{h_2}{2} \right)^2 \right) = 0{,}3 \left(\frac{0{,}71^2}{12} + (0{,}6 - 0{,}355)^2 \right) = 0{,}03 м^4$$

$$У_A = 0{,}29 - 0{,}05 - 0{,}03 = 0{,}21 м^4$$

Мінімальний момент опору

$$W_A = \frac{У_A}{y_C} = \frac{0{,}21}{0{,}6} = 0{,}35 м^3$$

[6]

Перетин В нижньої поперечки

$$F = BH = 0{,}74 \cdot 0{,}99 = 0{,}73 м^2;$$

$$y_c = 370 мм = 0{,}37 м;$$

$$W_1 = BH \cdot H^2 / 6 = 0{,}73 \cdot 0{,}74^2 / 6 = 0{,}066 м^3;$$

Статичний невизначений момент

$$R_1 = \frac{У_В}{У_Б} = \frac{0{,}033}{0б015} = 2{,}2$$

Для одержання найбільшого значення M_0 беремо $У_1 = У_2$ для нижньої поперечки, тому що $У_В \langle У_А$

$$R_2 = \frac{l_2}{l_1} = \frac{5{,}795}{1{,}94} = 2{,}99;$$

$$M_1 = \frac{Y \cdot l_1}{4} = \frac{6{,}75 \cdot 1{,}94}{4} = 3{,}27 МНм(327 Тм);$$

$$M_0 = M_1 \frac{1}{2(1 + R_2 \cdot R \cdot R_1)} = 3{,}27 \cdot \frac{1}{2(1 + 2{,}99 \cdot 2{,}2)} = 0{,}22 МНм(22 Тм)$$

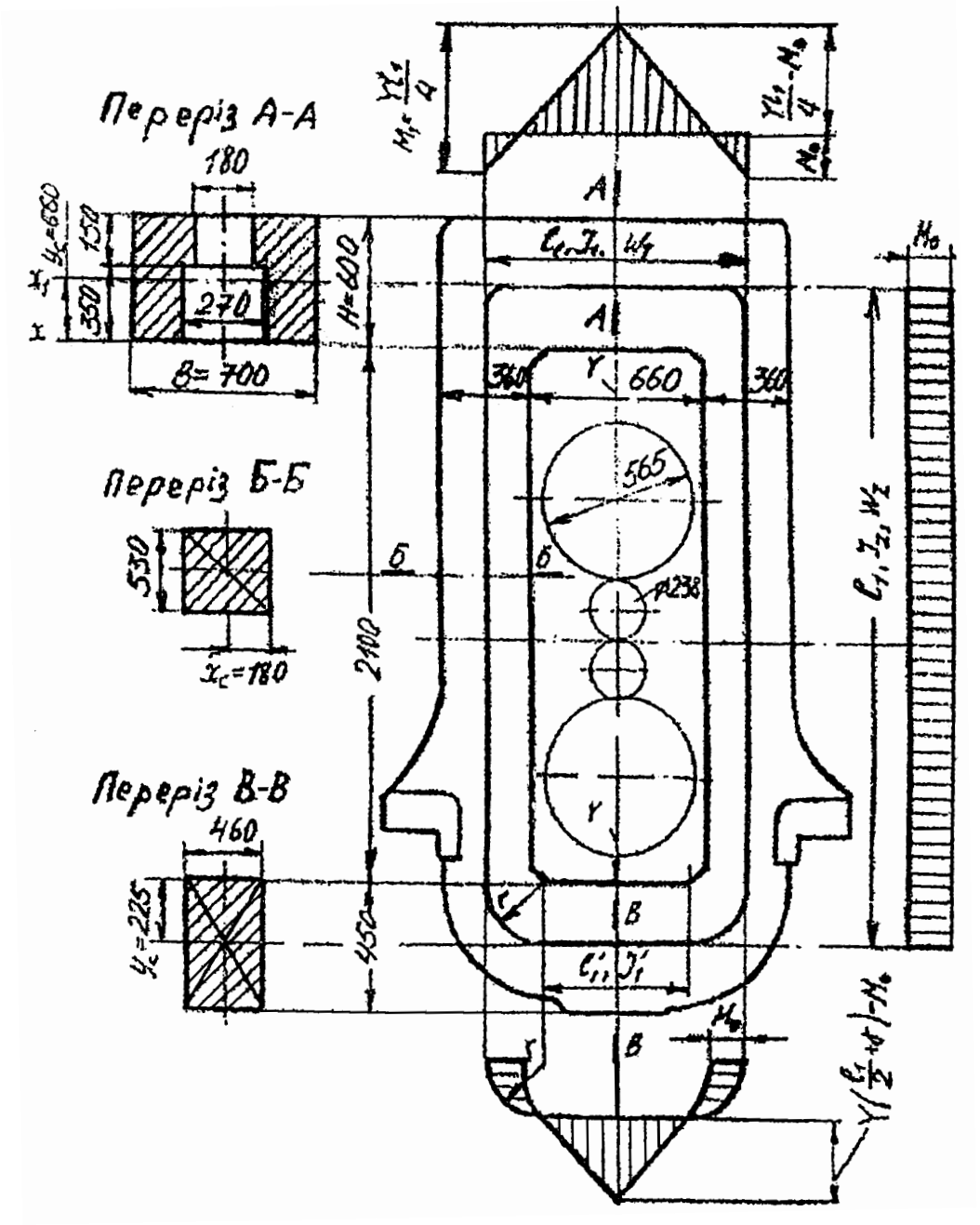


Рисунок 3.3 – До розрахунку станини стана кварто 1680

З огляду на закруглення в кутах твердості

$$R_3 = \frac{y_1}{y_3} = \frac{0{,}033}{0{,}02} = 1{,}65;$$

$$R_4 = \frac{r}{l_1} = \frac{0{,}495}{1{,}94} = 0{,}26;$$

$$M_0 = M_1 \frac{1 + 4R_4(1{,}15 \cdot R_3 \cdot R_4 + 1)}{2(1 + R_1 \cdot R_2 + \pi R_3 \cdot R_4)} =$$

$$= 3{,}27 \frac{1 + 4 \cdot 0{,}26(1{,}15 \cdot 1{,}65 \cdot 0{,}26 + 1)}{2(1 + 2{,}2 \cdot 2{,}99 + 3{,}14 \cdot 1{,}65 \cdot 0{,}26)} = 0{,}47 МНм(47 Тм)$$

Згинальні моменти в поперечці

$$M_n = M_1 - M_0 = 3{,}27 - 0{,}47 = 2{,}8 МНм(280 Тм)$$

Напруга вигину в перетині

$$\sigma_A = \frac{M_n}{W_A} = \frac{2{,}8 \cdot 10^9}{350} = 8 Н / мм^2$$

нижньої - перетин В

$$\sigma_B = \frac{2б8 \cdot 10^9}{66} = 42{,}4 Н / мм^2$$

Напруга розтягання в стійці

$$\sigma_5 = \frac{Y}{2F_2} + \frac{M_0}{W_2} = \frac{6{,}75 \cdot 10^6}{2 \cdot 0{,}46 \cdot 10^6} + \frac{0{,}9 \cdot 10^9}{0{,}03 \cdot 10^9} = 37{,}3 Н / мм^2$$

Станина виготовлена з литої сталі 35Л и після відпалу і виливка має $\sigma_B = 500 Н / мм^2$

Запас міцності

$$n_\sigma = \frac{\sigma}{\sigma_{\max}} = \frac{500}{42{,}4} = 11{,}8$$

З урахуванням наявності концентрації напруг під натискну гайку, приймаючи коефіцієнт концентрацій $k = 2{,}8$, запас по втомленої міцності:

$$n_f = \frac{1}{2k} \cdot \frac{\sigma_B}{\sigma} = \frac{1}{2 \cdot 2{,}8} \cdot \frac{500}{8} = 11{,}2$$

Припустимий мінімальний запас для станин по втомленої міцності $\lfloor n_f \rfloor = 1{,}5.$

Деформація станини у вертикальному напрямку, приймаючи $У = 2б1 \cdot 10^5 Н / мм_2$:

а) Розтягання кожної стійки силою $Y / 2$

$$f_1 = \frac{Y \cdot l_2}{2EF_2} = \frac{6{,}75 \cdot 10^6 \cdot 5792}{2 \cdot 0{,}46 \cdot 10^6 \cdot 2{,}1 \cdot 10^5} = 0{,}2 мм;$$

б) Прогин двох поперечок від вигину

$$f_2 = \left(\frac{Y \cdot l_1}{6} - M_0 \right) \frac{l_1^{\,2}}{4EУ_1} =$$

$$\left(\frac{6{,}75 \cdot 10^6 \cdot 1940}{6} - 0{,}47 \cdot 10^9 \right) \frac{1940^2}{4 \cdot 2{,}1 \cdot 10^5 \cdot 0{,}21 \cdot 10^{12}} = 0{,}03 мм;$$

в) Деформація двох поперечок від дії поперечних сил, при $G = 0{,}75 \cdot 10^5 \, H / мм^2$

$$f_3 = 1{,}2 \frac{Y \cdot l_1}{2GF_1} = 1{,}2 \frac{6{,}75 \cdot 10^{6} \cdot 1940}{2 \cdot 0{,}75 \cdot 10^5 \cdot 0{,}73 \cdot 10^6} = 0{,}14 мм.$$

Сумарна деформація станини

$$f_{ст} = 0{,}2 + 0{,}03 + 0{,}14 = 0{,}37 мм.$$

З розрахунку видно, що деформація станини лежить у межах, що допускаються.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА

Охорона праці - це система правових, соціально-економічних, санітарно-гігієнічних і лікувально-профілактичних заходів та засобів, спрямованих на збереження життя, здоров'я і працездатності людини в процесі трудової діяльності (стаття 1 Закону «Про охорону праці» в редакції від 21.11.02)

Правовою основою законодавства з охорони праці є Конституція України, закони України: «Про охорону праці»; «Про загальнообов'язкове державне соціальне страхування»; «Про охорону здоров'я», «Кодекс цивільного захисту»; «Про забезпечення санітарного і епідеміологічного благополуччя населення».

4.1 Технічні рішення щодо безпечної експлуатації стану 1680

Небезпечними виробничими факторами на прокатному стані є наступні:

- захоплення і затягування одягу і частин тіла валками;
- захоплення і затягування одягу і частин тіла шпинделями, що обертаються, і сполучними муфтами;
- відліт окалини і уламків металу;
- опіки; удари металом під час прокатування.

Для запобігання травматизму при прокатці металу максимально механізують і автоматизують прокатні стани.

Для усунення розльоту окалини з поверхні слябів перед чорновими клітями встановлений окалинозламувач із пристроєм для гідрозбиву окалини.

Прибирання окалини під клітями станів і рольгангів механізують за допомогою гідрозмиву, спеціальних транспортерів, скребків та інших пристосувань. Ширину проходу в тунелях для прибирання окалини роблять не менше 700 мм, а висоту не менше 2 мм.

Сполучні шпинделі і муфти необхідно захищати не лише збоку, але і зверху захисними кожухами, причому запобіжні кожухи повинні впритул примикати до станин клітей.

Запобіжні кожухи обладнують блокуванням. Сполучні шпинделі необхідно обладнати пристроями камерного типу.

Для безпечного пересування людей в прокатних цехах передбачають спеціальні проходи, надійно захищені від рухомих розкатів. Для запобігання виходу розкатів убік, прокатне поле захищають міцними суцільними бортами.

Щоб забезпечити безпечний перехід через лінію прокатки, встановлюють перехідні містки, які мають міцну огорожу заввишки 1,8 м.

Обладнання стану фарбують відповідно до основних принципів виробничої естетики і стандарту безпеки.

Конструкція і розташування двигунів прокатних станів повинні

задовольняти вимогам раціональної технології і безпеки їх обслуговування. Зокрема, управління електродвигунами виконують дистанційно з пультів управління прокатного стану.

Пристрій для управління натискними гвинтами для зручності і безпеки їх обслуговування розташовують в безпечному місці: на зовнішньому торцевому боці кліті.

Контроль розмірів прокату здійснюється дистанційно.

Пости управління прокатними станами і допоміжними агрегатами розташовують на висоті 2-2,5м, щоб оператори добре бачили обслуговувані ними агрегати.

Пости управління обладнані сигнальними пристроями і гучномовцями для сповіщення про пуск, зупинку або зміну режиму роботи обслуговуваних агрегатів.

Перед пуском стану майстер або старший вальцювальник зобов'язаний перевірити справність стану, наявність необхідних огорож і запобіжних пристроїв, переконатися у відсутності робітників поблизу частин стану і допоміжного обладнання, що обертаються. Після цього подати встановлений

сигнал.

Необхідно виконувати правила внутрішнього разпорядку, строго дотримуватись правил техніки безпеки.

4.1.1 Технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії

У системі законодавства відносно гігієни праці основне місце займає Закон України «Про забезпечення санітарного і епідемічного благополуччя населення» (1994), а також СНіП:

№3044-84 «Санітарні норми вібрації робочих місць».

№ 3223-85 «Санітарні норми допустимих рівнів шуму на робітників місцях».

№4086-86 «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень».

На стан здоров'я працівників впливають шкідливі фізичні, хімічні і психофізіологічні фактори технологічних процесів: гази, що виділяються в повітряне середовище, пари, пил, тепло, шуми, вібрації, різні види випромінювань.

До виробничої санітарії відносяться: обладнання приміщень

вентиляцією, опалюванням і іншими санітарно-технічними пристроями; оснащення вбиральнь, душових, вмивальних і інших санітарно-побутових приміщень; забезпечення працівників індивідуальними засобами захисту; запобігання забрудненню довкілля рідинами, газами, парами. На основі вивчення умов і характеру праці на підприємствах чорної металургії і впливу цих факторів, на організм працівників, розроблений комплекс організаційних, санітарно-технічних, лікувально-профілактичних і інших заходів, спрямованих на усунення несприятливих факторів виробничої середи, попереджання і ослаблення їх впливу на організм працюючих, а також на зміну самого характеру праці для зміцнення здоров'я працівників і підвищення їх працездатності:

- проведення вступного санітарного інструктажу з профілактики

професійних захворювань і гігієні праці, а також санітарно-технічного інструктажу на робочому місці з робітниками, що зайняті на шкідливих ділянках виробництва;

- проведення оглядів-конкурсів санітарного стану робочих місць, санітарно-побутових приміщень і пристроїв.

4.1.2 Мікроклімат

Метеорологічні умови виробничого середовища визначаються поєднанням ряду чинників: температурою, відносною вологістю і рухливістю повітря, рівнями теплового випромінювання.

Для забезпечення нормальної роботи в різні періоди року на робочих місцях встановлюються різні пристрої для опалювання і вентиляції.

Несприятливі метеорологічні і кліматичні умови можуть викликати серйозні патологічні зміни в організмі, а також спричиняти захворювання.

В літній період в ЦГП для очищення виробничого повітря і подачі чистого використовуються системи кондиціювання.

В приміщеннях з постійним або тривалим перебуванням обслуговуючого персоналу в холодний період встановлюються системи опалювання, батареї, калорифери.

В'їзні і виїзні ворота повинні обладнуватись повітряними і тепловими завісами з механічним приводом. На головних постах управління прокаткою встановлені батареї з паровим опаленням.

Температура повітря на ділянці прокатного стану в теплий період року не повинна перевищувати на 5 °С температуру зовнішнього повітря і не більше 28°С, але фактично 38°С.

Висока і низька вологість негативно впливає на самопочуття і здоров'я людини.

Відносна вологість та швидкість повітря за даними карти умов праці відповідають нормі.

4.1.3 Склад повітря робочої зони

Гранично допустима концентрація згідно ГОСТ 12.1005 - 88 «Загальна вимога до повітря робочої зони».

Таблиця 4.1 - Склад повітря робочої зони.

Інгредієнт	Фактічне, мг/м^3	ГДК, мг/м^3
Пил	4,76	4,0
Ангідрід сірчастий	6,2	10,0
Марганцевий оксид	0,18-0,3	0,3
Оксид вуглецю	5,8	20,0

Склад повітря з більшості показників відповідає ГДК за ГОСТ 12.1005 - 88.

Виділення пилу і окалини на ділянці стану БТЛС 1680 виникає при вивантаженні слябів з методичних печей, при проходженні слябів в окалинозламувачі, при прокатці слябів в клітях чорнової і чистової груп стану. Для видалення забрудненого повітря пропонується застосовувати загально-обмінну витяжну вентиляцію.

4.1.4 Виробниче освітлення

У ЦГП передбачено штучне і природне освітлення. Природне сонячне світло проникає скрізь світлові отвори (верхні і бічні). Верхнє освітлення проводиться через аераційні ліхтарі на даху цеху. Природне освітлення на постах управління або диспетчерських відсутнє з причини неприпустимості.

Природне освітлення цеху проводиться через вікна в стінах і світлові ліхтарі в даху будівлі.

Коефіцієнт природної освітленості дорівнює 3, що відповідає нормі.

Освітленість в цеху не менше 200 лк, що є нормою.

Вибір джерела світла залежить від характеру роботи, умов середи, розмірів приміщення. Лампи накалювання застосовують в приміщеннях, в яких проводять відносно грубі роботи (нормована освітленість до 50 лк), а

також для місцевого освітлення.

Для загального освітлення по становому прольоту застосовуються газорозрядні лампи, які мають бути оснащені захисними плафонами.

Окрім робочого освітлення в цеху встановлено аварійне освітлення, яке призначене для безперебійного обслуговування стану і обладнання в разі відмови у дії робочого освітлення, а також для безперешкодного виходу назовні в разі аварії. Аварійне освітлення підключене до незалежного джерела електроенергії.

Контроль за станом освітленості проводять за допомогою приладів-люксметрів.

4.1.5 Виробничий шум

Надмірний шум надає шкідливий вплив на здоров'я працівників, сприяє виникненню травматизму і знижує продуктивність праці. Робота в умовах підвищеного шуму в перебігу всього дня викликає стомлення слухових органів. Тривала дія шуму, що перевищує допустимі норми, приводить до втрати слуху. Шум високих тонів негативно впливає на органи керування рівновагою людини в просторі.

За картою умов праці рівень шуму на ділянці стану - 90дБ при нормі - 80дБ.

Для зменшення рівнів шуму пропонується звукоізолювати обладнання 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.

4.1.6. Виробничі вібрації

Класифікацію, гігієнічні норми вібрації, вимоги до вібраційних

характеристик виробничого устаткування, включаючи і транспортні засоби, визначає ГОСТ 12.1.012-90 «Вібраційна безпека».

При частоті більше 16-20 Гц вібрація супроводжується шумом. Людина починає відчувати вібрацію при коливальній швидкості рівної 1х10'^{4}м/с, а при швидкості 1м/с виникають больові відчуття.

Для захисту від вібрації і шуму пропоную:

- замінити виробничі процеси, що викликають шум і 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;
- застосувати звукоізолюючі кожухи для закривання особливо гучного устаткування;
- застосувати звукоізолюючі і звукопоглинальні матеріали;
- використовувати індивідуальні засоби захисту від шуму і вібрації, а також проведення заходів гігієнічного характеру.

Тривала дія вібрації великої частоти викликає вібраційну хворобу, вражаючу нервово-м'язову і серцево-судинну системи людини і веде до пошкодження суглобів. При цьому може бути повна втрата працездатності.

Для вимірювання вібрації в цеху використовують віброщуни, що відносяться до приладів неелектричного типу.

4.2 Виробничі випромінювання

Під час гарячої прокатки мають місце значні тепловипромінювання. За картою умов праці при санітарній нормі 140 Вт/м^{2}на ділянці стану - 603 Вт/м^2.

Для попередження осліплюваності працівників потрібно застосовувати окуляри з кольоровим склом (світлофільтрами).

Для захисту працівників від тепловипромінювання, поряд із зменшенням інтенсивності випромінювання встановлюють між джерелами

тепловипромінювання і працівниками екрани або завіси, що затримують інфрачервону радіацію, випромінювання.

Для зменшення тепловипромінювання в цеху максимально знижують температуру джерел променистого тепла. Зниження температури джерел випромінювання тепла в прокатних цехах практично здійснюються збільшенням товщини стінок агрегатів, теплоізоляцією їх зовнішньої поверхні або охолоджуванням цих поверхонь.

При вживанні порожнистих екранів з циркулюючою водою або при безперервному змочуванні водою простих екранів, виконаних з листової сталі, теплове випромінювання затримується повністю. Якщо по характеру виробництва потрібно вести спостереження за процесами, то екрани виконуються з прозорих матеріалів або густої металевої сітки.

Водяні завіси у вигляді суцільної пелени води, а також водоструминної або водоповітряної завіси дозволяють зменшити дію тепловипромінювання на робочих місцях на 60 - 85%, причому видимість крізь завіси істотно не погіршується. Водяні завіси слід застосовувати, наприклад, в робочих вікнах нагрівальних печей, в місцях маркування гарячого металу.

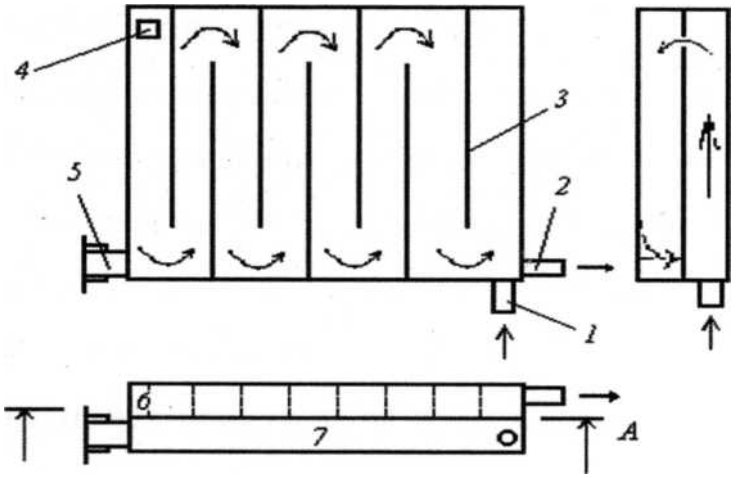


Рисунок 4.1 - Водоохолоджувальний екран захисту від теплового опромінення робочих місць: 1 - підведення води; 2 - стік води; 3 - перегородки; 4 - переливне вікно; 5 - труба з водою для промивання екрану; 6 - порожнина з перетинанням; 7 - порожнина без перетинання.

4.3 Пожежна безпека

Згідно ДСТУ 2272-93 пожежна безпека об'єкту забезпечується системою запобігання пожежі, системою пожежного захисту і заходами організаційного характеру.

За всіх умов має бути забезпечена пожежна безпека об'єкту і безпека людей.

4.3.1 Технічні рішення системи запобігання пожежі

Для запобігання пожежі і вибуху в цеху необхідно дотримуватися правил пожежної безпеки.

Джерелами горючого середовища можуть бути: випарювання мастила при порушенні герметичності мастилопроводів, а також газова небезпека з боку методичних печей.

Основні небезпеки пожеж від електричних пристроїв виникають при займанні ізоляції дротів і короткому замиканні. Основною причиною займання ізоляції є перегрівання дротів.

До основних умов запобігання пожежі відносяться запобігання утворенню горючого середовища і появи джерел запалення.

Внаслідок порушення еластичності ізоляції і її руйнування нерідко виникає коротке замикання дротів. Для запобігання загорянню ізоляції і короткого замикання дротів потрібно застосувати плавкі запобіжники або спеціальні автомати, що відключають мережу при перевантаженні.

До організаційних заходів щодо забезпечення пожежної безпеки відносяться: пожежна охорона об'єкту спеціальними формуваннями; розробка і здійснення правил і норм пожежної безпеки, правил дотримання протипожежного режиму і встановлених заходів щодо ліквідації виниклої пожежі; навчання працівників заходам пожежної безпеки.

4.3.2 Технічні рішення системи протипожежного захист

При проектуванні промислових підприємств мають бути забезпечені необхідні вимоги пожежної безпеки. До цих вимог відносяться: раціональне розміщення будівель і споруд на території підприємства з урахуванням вибухової, вибухопожежної і пожежної небезпеки технологічних процесів окремих цехів і інших виробничих об'єктів, а також з врахуванням створення оптимальних умов для запобігання поширенню і ліквідації пожеж; наявність доріг, що забезпечують безперешкодний під'їзд пожежних підрозділів у разі виникнення пожежі; раціональне розташування комунікацій з урахуванням вимог пожежної безпеки.

Протипожежні перешкоди влаштовують для запобігання поширенню пожежі. До них відносяться перекриття, що не згорають, і протипожежні стіни.

Протипожежні розриви між будівлями і спорудами визначаються залежно від ступеня вогнестійкості будівель і категорії вибухо-пожежо-небезпечності виробництв.

За ОНТП 24-86 будівля цеху гарячої прокатки тонкого листа належить до категорії «Г», а за ПБЕ приміщення електроустаткування-до класів П-I, 2.

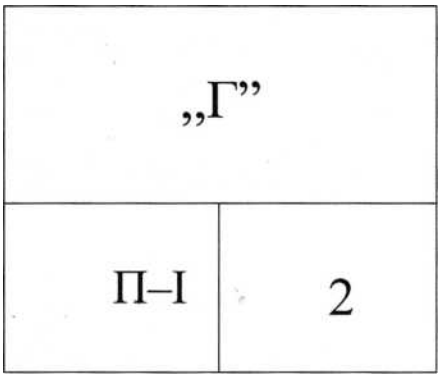


Рисунок 4.2 - Знак пожежонебезпеки.

Залежно від умов загорання створені різні типи вогнегасників: повітряно-пінні, газові, порошкові.

Вуличні пожежні гідранти повинні забезпечуватися табличкою з

написом, наприклад «ПГ № 1». У зимову пору року під'їзди до них повинні регулярно очищатися від снігу. Розпорядженням по цеху призначаються особи відповідальні за стан пожежних гідрантів. Будь-який робітник помітивши або почувши сигнали пожежної сигналізації, повинен негайно повідомити про це черговому електрикові, майстрові або майстрові зміни, за відсутності таких, будь-якому інженерно-технічному працівникові і діяти надалі відповідно до його вказівок.

При проектуванні виробничих будівель передбачають можливість безперешкодного виходу з приміщень при виникненні пожеж, вибухів і інших аварій. Шляхи евакуації мають бути мінімальної довжини.

Для сповіщення пожежних підрозділів про виникнення пожежі в цеху використовують телефонний зв'язок і спеціальну електричну пожежну сигналізацію.

Для гасіння пожежі, в цеху застосовують вогнегасники, воду, водні емульсії вуглеводнів, водяну пару, повітряно-механічну піну, інертні гази, вуглекислоту, стисле повітря.

На ділянці «прокатний стан» передбачена наявність пожежних щитів з інвентарем в склад, до якого входить: відро, лопата, багор і ящик з піском. На пожежному щиті повинно знаходиться 2 пінних вогнегасника типа ВПП - 10, а в машинному залі 2 вуглекислотних вогнегасника ВВ-8. Кількість вогнегасників повинна відповідати нормам: один вогнегасник на 600 $м^2$.

4.4 Заходи щодо захисту навколишнього середовища

При гарячій прокатці метала пил утвориться в результаті здрібнювання окалини валками й випару металу в наслідку миттєвого збільшення тиску й підвищення температури. Від станів гарячої прокатки через аераційні ліхтарі надходить до атмосфери пил у кількості 2-18 г/т прокату заліза, що складається з окислів, та ін. металів залежно від ступеня легування стали. Викиди нагрівальних печей містять оксиди азоту CO, CH_4, що утворюються в

результаті спалювання, окислювання й обезвуглецування сталі.

У прокатних цехах у порівнянні з іншими цехами підприємств чорної металургії виділення пилу й газів значно менше. У середньому загальний викид пилу від всіх джерел її утворення становить близько 200 г/т товарного прокату основними джерелами технологічних викидів є прокатні стани, машини вогневого зачищення й травильні відділення прокатних цехів.

Для очищення димових газів від нагрівальних печей від оксиду азоту передбачаються ванадієві каталізатори, вбудовані в котли утилізатори .

Стічні води, що утворяться в прокатному виробництві, становлять 30-50% загальної їхньої кількості підприємства з повним металургійним циклом. Стоки утворяться в результаті охолодження валків, підшипників, змиві окалини й масла.

Стічні води містять окалину, масла, емульсію. Сточні води очищаються у відстійниках глибокого посвітління у вторинних відстійниках тонкого очищення.

У прокатному виробництві на станах гарячої прокатки використовується система оборотного водопостачання. В даний час на сучасних підприємствах передбачається триступенева система очищення оборотної води. Перший ступінь включає яму для окалини, радіальні відстійники з камерами флокуляції > (для укрупнення механічних домішок) та сітчасті фільтри. В якості другого ступеня очищення в системі передбачаються відстійники з вбудованими камерами хлоп’єутворенних гідро-циклонного типу. На третьому ступені очищення (тонке очищення окалини і мастиломістних стічних вод) застосовуються спеціальні фільтри: антрацито-кварцеві.

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі виконано аналіз технології гарячої прокатки тонколистового прокату на безперервному широкосмуговому стані 1680 ПАТ «Запоріжсталь» та проведено розрахунок основних параметрів процесу прокатки сталі марки А36.

У результаті виконаних розрахунків встановлено режим деформації сляба розміром 110×1100 мм з отриманням готової гарячекатаної смуги розміром 4×1110 мм. Визначено розподіл обтиснень між клітями чорнової та чистової груп, при цьому товщина розкату після чорнової групи становить 21 мм, а після проходження чистової групи клітей досягає заданого значення 4 мм.

Розрахунками встановлено, що довжина розкату в процесі прокатки збільшується з 4,7 м до 120,7 м, а швидкість прокатки в чистовій групі клітей зростає до 7,5 м/с. Температура металу в процесі деформації знижується від 1250 °С на вході до стану до 850 °С після останньої кліті, що відповідає вимогам технології прокатки сталі А36.

Виконано розрахунок геометричних параметрів процесу, визначено абсолютні та відносні обтиснення, кути захоплення, коефіцієнти витягування, а також силові параметри прокатки. Отримані результати підтвердили можливість реалізації прийнятого режиму прокатки на існуючому обладнанні стану 1680.

У роботі проведено аналіз технічного стану обладнання та виявлено основні фактори, що обмежують продуктивність і якість продукції: недостатня ефективність гідрозбиву окалини, обмеження швидкості прокатки редукторами чистової групи клітей, недостатня жорсткість окремих вузлів, а також недосконаліть систем охолодження та автоматичного регулювання процесу.

Для усунення виявлених недоліків запропоновано комплекс технічних рішень, зокрема встановлення ефективнішої системи видалення окалини, модернізацію приводу кліті №2, зменшення товщини підкату перед чистовою групою клітей, заміну рольганга за кліттю №10 зі зменшенням кроку роликів з

600 до 360 мм, а також впровадження обладнання прискореного охолодження смуг перед змотуванням.

Практичним результатом роботи стало обґрунтування можливості виробництва гарячекатаних смуг із чечевичною поверхнею на стані 1680. Встановлено, що освоєння даного виду продукції сприяє підвищенню конкурентоспроможності підприємства, розширенню ринків збуту та збільшенню економічної ефективності виробництва. Використання спеціального профільованого валка забезпечує формування рифлення, яке за своїми параметрами максимально наближене до вимог стандарту ASTM, що створює додаткові переваги продукції ПАТ «Запоріжсталь» на міжнародному ринку.

Отримані результати можуть бути використані для вдосконалення технологічного процесу гарячої прокатки, підвищення продуктивності стану 1680, покращення якості готової продукції та розширення номенклатури прокату, що випускається ПАТ «Запоріжсталь».

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

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

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

3. Василёв Я.Д., Сафъян М.М. Производство полосовой и листовой стали : учебник для вузов. Киев : Вища школа, Головное издательство, 1976. 192 с.

4. Клименко В.М., Онищенко А.М., Минаев А.А. Горелик В.С. Технология прокатного производства : учебное пособие для вузов. Киев: Вища школа, Головное издательство, 1989. 311 с.

5. Сафъян М.М., Мазур В.Л., Сафъян А.М., Молчанов А.И. Технология процессов прокатки и волочения. Листопрокатное производство : учебник для вузов. Киев: Вища школа, Головное издательство, 1988. 351 с.

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

7. Чащин В. В., В. А. Капитанов, Попов Е. С. Использование температурной математической модели при разработке технологии регулируемого охлаждения горячекатаной полосы в рулоне. *Производство проката.* 2008. № 8. С. 17-23.

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

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

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

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

12. Дубовский Б. А., Никифоров Б. А., Радионова Л. В. Иследование влияния технологических параметров горячей прокатки на структуру низкоуглеродистых и низколигированных марок стали. Производство проката. 2006. №10. С. 15-20.

13. Welo T., Abtahi S., Skauvik I. An Experimental and Numerical Investigation of the Thermo-Mechanical Conditions on the Bearing Surface of Extrusion Dies. *Proceeding of 6 International Extrusion Technology Siminar*. Chicago: Editors Express, 1996. Vol. 1. P. 101-106.

14. Hamzah H. Weld integrity on a die. Proceeding of the Seventh International Aluminium Extrusion Technology Seminar. Chicago: Editors Express, 2000. Vol. II. P. 273-275.

15. Muller K.B., Wegener J. Direct Extrusion of AA 6060 Through Dies With Coated Bearing Lengths. *Proc. of the Sixth International Aluminum Extrusion Seminar*. Chicago: Editors Express, 1996. Vol. 2. P. 147-153.

16. Devadas C., Celliers O. Metal Flow During the Extrusion Process. *Proc. of Fifth International Extrusion Technology Seminar*. Chicago: Editors Express, 1992. Vol. 1. P. 359-368.

17. Hardouin J-P. Bearing Length Calculation by Control of Metal Flow Pressure. *Proc. of Fifth International Extrusion Technology Siminar*. Chicago: Editors Express, 1992. Vol. 1. P. 291-303.

18. Sereda B., Belokon Y., Kruhliak I., Sereda D., Kruglyak D. The effects of grain size on mechanical properties of Ti-Al intermetallic alloy. *Математичне моделювання*. 2023. 1 (48). С. 88-96. https://doi.org/10.31319/2519-8106.1(48)2023.280148.

19. Belokon Y ., Zholobko B., Sahuliakin O., Kalashnik S. Analysis of the thermodynamic properties of special-purpose alloys for conditions of thermochemical pressing. *Математичне моделювання*. 2024. No 1 (50). С. 146-151. https://doi.org/10.31319/2519-8106.1(50)2024.305581.

20. Sheyko S., Belokon Y., Hrechanyi O., Vasilchenko T. Thermoplastic processing of structural metallic materials. Experiments, theory and modeling. Cham: Springer, 2024. 112 p. ISBN 978-3-031-73895-1.

21. Іващенко О. В. Методичні вказівки до виконання організаційно-економічної частини дипломного проекту. Запоріжжя : Вид. ЗДІА, 2004. 31 с.

22. Жидецкий В. Ц., Джигирей В. С., Мельников А. В. Основы охраны труда. учебник. изд. 2-е, дополненное. Львов : Афиша, 2000. 350 с.

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

24. Панасейко С. П. Гигиена труда и производственная санитария : учебное пособие для студентов ЗГИА. Запорожье : ЗГИА, 2003. 232 с.

25. Панасейко С. П. Методические указания для курсового и дипломного проектирования по дисциплине «Охрана труда» (раздел «Вентиляция и кондиционирование»). Запорожье : ЗГИА, 2002. 45 с.

26. Пеклов А. А., Степанова Т. А. Кондиционирование воздуха. Киев : Высшая шк., 1978. 328 с.

27. Рижков В. Г. Електробезпека. Методичні вказівки до дипломного та курсового проектування, контрольних робіт і практичних занять для студентів ЗДІА спеціальності „Металургія чорних металів” спеціалізації „Охорона праці та екологія металургійного виробництва” денної та заочної форм навчання / Укл.: В. Г. Рижков. Запоріжжя, 2004. 60 с.