Міністерство освіти і науки України

Запорізький національний університет
Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю.М. Потебні

Кафедра обробки металів тиском

Пояснювальна записка

до дипломного проекту (роботи)

рівень вищої освіти перший (бакалаврський) рівень
(перший (бакалаврський) рівень)

на тему «Розробка технології прокатки гарячекатаних штаб 1,0х1000 мм зі сталі 08Ю на напівнеперервному стані гарячої прокатки 1680»

Виконав: студент 5 курсу, групи МЕТ-17-3бз

Шавкуненко Анатолій Вікторович
(ПІБ) (підпис)

спеціальності (напряму підготовки)

136 Металургія
(шифр і назва)

спеціалізація

(шифр і назва)

освітньо-професійна програма

металургія
(шифр і назва)

Керівник Ю. О. Бєлоконь
(прізвище та ініціали) (підпис)

Запоріжжя - 2022 року

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ІМ Ю.М. ПОТЕБНІ

Кафедра обробки металів тиском
Рівень вищої освіти перший бакалаврський рівень
(перший (бакалаврський) рівень, другий (магістерський) рівень)
Напрям підготовки / Спеціальність 136 Металургія
(шифр і назва)
Спеціалізація
(шифр і назва)
Освітньо-професійна програма металургія
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри *ОМТ*
Ю.О. Бєлоконь

"____" _____20___року

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

Шавкуненко Анатолій Вікторович
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) «Розробка технології прокатки гарячекатаних штаб 1,0х1000 мм зі сталі 08Ю на напівнеперервному стані гарячої прокатки 1680»

керівник проекту (роботи) Бєлоконь Юрій Олександрович, д.т.н., доцент,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом вищого навчального закладу від "17" 01 2022 року № 90-с
2. Строк подання студентом проекту (роботи) 14.05.2022 р.
3. Вихідні дані до проекту (роботи) Кінцевий розмір штаби 1,0х1000 мм. Матеріал – сталь 08Ю. Об'єкт – напівнеперервний стан гарячої прокатки 1680.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Реферат; Вступ; 1 Загальна частина; 2 Технологічна частина; 3 Механічна частина; 4 Охорона праці та техногенна безпека; Висновки; Література.

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

Презентація до 15 слайдів (Мета та завдання роботи, Схема технології виробництва штаби в цеху, Схема неперервного стана холодної прокатки, Заходи щодо реконструкції, Деформаційні та енергосилові параметри прокатки, Механічна частина, Охорона праці та техногенна безпека, Висновки).

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата завдання прийняв
1	Бєлоконь Ю.О., доцент, д.т.н.	
2	Бєлоконь Ю.О., доцент, д.т.н.	
3	Бєлоконь Ю.О., доцент, д.т.н.	
4	Бєлоконь Ю.О., доцент, д.т.н.	

7. Дата видачі завдання 27 січня 2022 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Загальна частина		
2	Технологічна частина		
3	Механічна частина		
4	Охорона праці та техногенна безпека		
5	Реферат, Вступ, Висновки		
6	Оформлення пояснювальної записки		
7	Підготовка презентаційного матеріалу		

Студент _____ **А.В. Шавкуненко**
(підпис) (прізвище та ініціали)

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

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи: 114 с., 8 рис., 15 табл., 42 літературних джерел.

Об’єкт дослідження – безперервний тонколистовий стан гарячої прокатки 1680, технологія виробництва тонкої штаби; розрахунок енергосилових параметрів прокатки на неперервному стані 1680.

Мета роботи – проект реконструкції чистової групи клітей стана гарячої прокатки 1680 в умовах ПАТ “Запоріжсталь”.

Метод дослідження – аналітичний, дано обґрунтування методики розрахунок режимів обтиску і енергосилових параметрів, по емпіричним формулам та використанням відомих з досвіду листопрокатного виробництва даним.

Представлені дані у режимах обтиску і енергосилових параметрів при прокатці штаби 1,0 мм і сталі 08Ю на безперервному тонкоштабовому стані гарячої прокатки 1680. Приведені дані свідчать о можливості реалізації запропонованих режимів прокатки.

ШТАБА, ГАРЯЧА ПРОКАТКА, ПІДКАТ, ДЕФОРМАЦІЯ, ЕНЕРГОСИЛОВІ ПАРАМЕТРИ, СТАН, ПОТУЖНІСТЬ, ЗУСИЛЛЯ ПРОКАТКИ, ПРОДУКТИВНІСТЬ.

ЗМІСТ

Вступ ……6
Розділ 1. Загальна частина…… 8
1.1 Характеристика цехів та обладнання металургійного комбіната«Запоріжсталь»……..……...…… 8
1.2 Технологічний процес прокатки на НТЛС 1680…….....17
1.3 Аналіз «вузьких місць» та заходи щодо реконструкції…...……. 23
Розділ 2. Технологічна частина……...……41
2.1 Розрахунок режимів обтисків ……. 41
2.2 Розрахунок енерго-силових параметрів..…….....51
2.3 Розрахунок продуктивності стана……. 75
Розділ 3. Механічна частина……...……76
3.1 Розрахунок валків на міцність…….……..…… 76
3.2 Розрахунок станини на міцність і визначення її жорсткості…..…. 81
3.3 Розрахунок на міцність натискних гвинтів..……. 89
Розділ 4. Охорона праці та техногенна безпека……..……. 93
4.1 Аналіз потенційно небезпечних и шкідливих чинників виробничого середовища ЦГПТЛ…… 93
4.2 Розробка заходів захисту від впливу небезпечних і шкідливих чинників виробничого середовища ЦГПТЛ…….....95
4.3 Опалення і вентиляція ……..……...96
4.4 Освітленість у цеху ……..... 98
4.5 Виробничий шум і виробнича вібрація……. 100
4.6 Розрахунок спринклерної системи пожежогасіння ……106
Загальні висновки ……. 110
Список використаної літератури……111

ВСТУП

У цей час сталь, як і раніше є основним конструкційним матеріалом. Однак, з розвитком хімічної промисловості й матеріалознавства сталевий лист змушений витримувати усе більше конкуренцію з боку нових видів продукції. Нові види продукції значною мірою задовольняють сучасним вимогам основних традиційних споживачів виробів чорної металургії - виробників транспортних засобів і машинобудівників. Для збереження свого положення на ринку конструкційних матеріалів сталевий лист повинен бути не тільки якісним, але й менш енергоємним, потребуючим для виготовлення меншої кількості сировини, щоб забезпечити ціни, привабливі для споживачів. Виходить, потрібне вдосконалювання технологій, застосовуваних у виробництві листового прокату; особливо - гарячекатаного, тому що без росту якості підкату не варто очікувати поліпшення характеристик холоднокатаного листа й іншої продукції наступних переділів. В останні п'ятнадцять років намітилися нові напрямки розвитку технології гарячої прокатки.

Результатом стало як подальше вдосконалювання широкосмугових прокатних станів, так і впровадження сполучених процесів лиття - прокатки й поява розробок в області безперервного лиття смуги. Розвиток автоматичних систем керування й контролю дозволило не тільки почати втілення в життя ідей, що вважалися раніше нездійсненними - як безперервне розливання тонкої сталевої смуги у двох роликових кристалізаторах. Металургійні підприємства одержали можливість формувати свій парк обладнання відповідно до реальних потреб ринків, на які вони працюють, і тим самим скоротити споживання енергії й інших ресурсів і капітальні витрати.

Широкосмугові стани гарячої прокатки володіють рядом переваг: це висока продуктивність (до 5 млн. тонн у рік і вище), висока технологічна гнучкість і здатність забезпечувати значні обтиснення.

На світовому ринку гарячекатаного металу зараз в основному представлений лист шириною від 600 до 2000 мм, товщиною від 1,25 до 25 мм. До 96% європейського ринку належить вуглецевим і легкодеформуємим маркам сталей.

ПАТ "Запоріжсталь" освоює нову технологію виробництва продукції - прокатку рулонів гарячекатаного металу подвоєної маси, які користуються підвищеним попитом на вітчизняному й світовому ринках. Незважаючи на те, що питома вага цієї продукції становить у цей час не більше 20% від загального обсягу виробництва комбінату, уже отримано 5,5 млн гривень додаткового доходу за рахунок підвищеної ціни на ринку й зниження витрат. Наступним кроком на шляху підвищення конкурентоспроможності продукції ПАТ "Запоріжсталь" стане виконання наміченої комбінатом комплексної програми, що вимагає значних капіталовкладень по заміні двигунів клітей тонколистового стана, і оснащенню його системою регулювання товщини смуги. Передбачена також реконструкція агрегатів різання гарячекатаного металу.

1 ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА

1.1. Характеристика цехів та обладнання металургійного комбіната ПАТ «Запоріжсталь»

Публічне акціонерне товариство «Запорізький металургійний комбінат« Запоріжсталь »- одне з найбільш великих промислових підприємств України.

Його продукція добре відома і користується попитом 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» спрямовані на освоєння нових ринків та видів продукції, зміцнення позитивного іміджу підприємства, розширення географії поставок. Основа успіху - суворе дотримання і постійне вдосконалення технологічних процесів, висока якість продукції, що випускається, чітке виконання договірних зобов'язань, орієнтація на потреби замовників.

Міжнародне визнання ПАТ «Запоріжсталь» в діловому світі підтверджено численними призами та сертифікатами. Колектив ПАТ «Запоріжсталь» закінчив цей рік з наступними техніко-економічними показниками:план виробництва перевиконаний по всьому металургійному циклу. Понад план вироблено:

- Чавуну 171 тис. тонн
- Сталі 153 тис. тонн
- Прокату 144 тис. тон

Реалізовано продукції на суму 214 млн. грн. Фінансовий результат до оподаткування склав 423 млн. грн., що на 163 млн. грн. вище запланованого і на 390 млн. грн. більше в порівнянні з 2020 роком.

Поліпшилася динаміка співвідношення кредиторської та дебіторської заборгованості, що свідчить про поліпшення фінансового стану комбінату та зниження ступеня фінансової залежності від зовнішніх джерел. Одним зі своїх пріоритетних напрямків ВАТ «Запоріжсталь» бачить розширення внутрішнього ринку збуту своєї продукції.

За 2020 продаж металопрокату вітчизняним споживачам збільшилася на 2,7% проти 2019 р. і склала 27,3% від усієї відвантаження. Основну частку продукції (72,7%) комбінат відвантажує на експорт. З метою поліпшення діяльності та підвищення конкурентоспроможності продукції на ПАТ «Запоріжсталь» з травня 2002 року ведеться розробка системи управління якістю відповідно до вимог міжнародних стандартів ISO серії 9000:2000. система управління впроваджена в травні 2003 року. Сертифікація системи буде здійснена незалежною фірмою ТЮФ НОРД в жовтні поточного року.

Перед колективом комбінату на 2021 рік поставлені наступні завдання:виплавити:чавуну - 3006 тис. тоннстали - 3914 тис. тоннсправити:прокату - 3248 тис. тонн. Комбінат «Запоріжсталь» виробляє високоякісний листовий прокат (гарячекатаний і холоднокатаний) товщиною 0,5-9,0 мм з вуглецевих, низьколегованих, легованих і нержавіючих сталей.

Основними споживачами продукції комбінату є виробники зварних труб, підприємства автомобільного, сільськогосподарського, транспортного машинобудування, виробники виробів побутової техніки та інші.

Металургійний комбінат «Запоріжсталь» є одним з основних постачальників якісного плоского прокату, гнутих профілів і жерсті для потреб української промисловості та на експорт. За обсягом виробництва сталі ПАТ «Запоріжсталь» входить до четвірки найбільш великих металургійних підприємств України, а по виробництву тонколистового, в тому числі холоднокатаного, прокату утримує лідерство. ПАТ «Запоріжсталь» є єдиним на Україні підприємством з виробництва тонколистового прокату з нержавіючих і легованих сталей, гнутих профілей, консервної жесті.

Комбінат «Запоріжсталь» складається з 8 основних і 56 допоміжних цехів, в яких трудяться понад 20 тис. чоловік. Щорічно підприємство виробляє більше 3,1 млн т чавуну, 3,9 млн т сталі і 3,4 млн т прокату. Комбінат володіє унікальним обладнанням по виробництву великогабаритних холоднокатаних листів із спеціальних сталей, а також шліфованих і полірованих штаб і листів з нержавіючих сталей. В останні роки відзначається стійка тенденція зростання обсягів виробленої продукції, вдосконалення якості та поліпшення економічних показників діяльності підприємства. Цьому в чималому ступені сприяє висока кваліфікація і досвід інженерів і робітників комбінату, уміла експлуатація ними металургійних агрегатів і устаткування, розробка і впровадження власних технологій, інтенсифікація та автоматизація виробничих процесів, вдосконалення структури управління.

Цех гарячої прокатки тонкого листа призначений для отримання товарних і передільних рулонів і аркушів.

В даний час на БТЛС 1680 прокочують штаби одинарні (до 8 тонн) і подвійний (до 16 тонн) маси. Основна маса металу прокочується транзитом (тобто минаючи нагрівання в методичних печах). Приблизно 7-10% металу прокочується після нагріву (підігріву) в методичних печах. Сляби подвійної маси прокочуються тільки транзитом.

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

До складу цеху входять: ділянка методичних нагрівальних печей; безперервний широкоштабовий стан 1680; ділянка підготовки валків; гаряча лістоотделка, що включає в себе ряд агрегатів для порізки рулонів на листи.

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

До складу чистової групи входять: чистової окаліноломатель і шість робочих клітей "кварто", а також летючі ножиці 25х1700 мм для обрізи переднього кінця штаби і 28 * 1550 для обрізи переднього і заднього кінців підкату.

Хвостова частина табору складається з наступного обладнання: змотувачів (6 шт.), Що транспортують рольгангів і конвеєрів, душирующего пристрої, 2-х підйомно - поворотним столом.

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

Печі опалюються сумішшю доменного, коксового та природного газів, а в разі відсутності природного газу - сумішшю коксового та доменного газів.

Повітря необхідне для горіння, підігрівається в блоковому керамічному рекуператорі об'ємом 330 м2 до температури від 5500С до 6500С. Продукти горіння від всіх печей відводяться по лежаків у дві димові труби висотою 15 метрів.

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

Підготовки валків до прокатці проводиться на спеціальній дільниці, що включає в себе 4 верстати для обдирання поверхні, огляду та ревізії подушок, а також стелажів для розбирання та збирання валків.

Гаряча лістоотделка включає в себе два агрегати поперечної різання, два агрегати подовжнього різання, агрегату періодичного травлення та інше допоміжне обладнання.

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

Агрегати повздовжнього різання призначені для отримання з рулонів шириною 1000-1500 мм товарних рулонів шириною 40-500 мм, а також для

отримання заготовки для відділення гнутих профілів, пакувальної стрічки та в ін

Безперервний тонколистовий стан 1680 складається з двох груп - чорновий і чистовий.

До складу чорнової групи входять: одна двовалкової кліть чорновий окаліноломатель, чотири 4-хвалкових «кварто» (№ № 1, 2, 3 і 4) і три вертикальних (№ № 1, 2, 3) кліті (т.зв. «еджери »).

До складу чистової групи входять: одна двовалкової кліть (чистової окаліноломатель) і шість клітей (№ № 5, 6, 7, 8, 9,10), а також летючі ножиці 25х1700 мм для обрізи переднього кінця штаби (розкату) перед чистової групою і 28 * 1550 мм для обрізи переднього і заднього кінців штаби.

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

До складу допоміжного обладнання входять: лівий і правий рольганг зі шлепперним пристроєм; летючі ножиці з доданим обладнанням для порізки гарячекатаних штаб на листи, ножиці з нижнім різом; згортають машини № № 1, 2 і 3, душирующего установка; моталки № № 1-6 з кантуватели рулонів, прийомними візками, приймачами рулонів, конвеєром і крокуючої балкою до них; отводящего конвеєра; підйомно-поворотних столів; вагового рольганга з електронно-тензометричної системи зважування рулонів і приймального рольгангу.

Летючі ножиці лівого і правого рольгангів; летючі ножиці призначені для різання штаб товщиною від 2 до 6 мм і шириною від 850 до 1500 мм на листи довжиною від 1500 до 6000 мм.

Складальний кишеня призначена для збирання в пачки листи довжиною від 1500 до 6000 м і шириною від 710 до 1580 мм. Не допускається укладання в

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

Душирующего установка призначена для прискореного охолодження штаб.

Тип охолодження - камерне. При цьому вода з ванн верхніх секцій подається на штаби по типу «водяної завіси», а з ванн нижніх секцій - по типу «водяного стовпа».

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

Ножиці з нижнім різом 10х1700 мм. Межа міцності разрезаемого аркуша не більш 65 кг/мм2. Товщина розрізання листа 10,2 мм; ширина розрізає листа 1520 мм; число різів в хвилину 12.

Згортають машини № № 1-3. Максимальна ширина змотуваної штаби дорівнює 1524 мм; діаметр рулонів від 752 мм до 1194 мм. Швидкість змотуваної штаби дорівнює швидкості штаби, котра виходить з 10-ї кліті. Привід роликів індивідуальний. Приймальна частина змотувачів складається з двох подаючих роликів діаметром 355 мм і довжиною 1830 мм.

Змотувачі № 1-3 ролико - барабанні: товщина змотувати штаб вуглецевих сталей від 1,7 до 9,0 мм. Товщина на змотувати штабах легованих марок сталей від 2,0 до 4,0 мм. Ширина змотувати штаб від 720 до 1550 мм. Максимальна вага рулону 15000 кг. Зовнішній діаметр рулону 900-1600 мм. Температура смотки штаб 500-8000С. Швидкість смотки штаб 6-15м / с. Діаметр барабана-750мм. Довжина барабана-2150 мм.

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

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

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

Приймач рулонів конвеєра № 1: час підіймання та опускання по 4 секунди, максимальна вага рулону 18000 кг.

Змотувачі № № 4-6 ролико - барабанні: товщина змотуваної штаби від 1,8 до 6,0 мм, ширина від 600 до 1510 мм, максимальна вага рулону-7500 кг, максимальна температура змотаною штаби 600 0С.

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-поворотному 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 900-7,5 секунд; вантажопідйомність столу 25 тонн; хід столу 550 мм; швидкість задачі рулону на стіл від 4,5 до 9,0 м / хв.

Підйомно-поворотний стіл № 2: швидкість руху ланцюгів конвеєра від 3 до 6 м / с, число ланцюгів-2 штуки, крок ланцюга -630 мм. Час повороту столу на 900-7 секунд; вантажопідйомність столу 15 тонн; хід столу 570 мм.

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

Безперервний тонколистовий стан гарячого плющення тонкого листа 1680 призначений для прокатки штаб від 1,5 до 10,0 мм і шириною від 900 до 1520 мм.

Штаби з низьколегованих марок сталей прокочуються шириною не більше 1250 мм. Для виконання замовлень відділення гнутих профілів з низьковуглецевих марок сталей дозволяється прокатувати штаби шириною до 1400 мм.

Таблиця 1.1 - Характеристика валків стан гарячої прокатки «1680»

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

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

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

Нетравленний поверхня може зберігати невідокремлюваних шар окалини, який допускає виявлення поверхневих дефектів.

При поставці прокату по ГОСТ 14637-89 на поверхні прокату не повинно бути рванина, наскрізних розривів, кірочок, а також бульбашок - роздутих, гармошки. Допускаються дефекти (рябизна, ризики та інші місцеві дефекти), що не виводять прокат за граничні розміри.

Фактичне граничне відхилення по ширині не повинно перевищувати +20-30 мм.

Відхилення від площинності штаб товщиною від 2,0 до 3,9 мм не повинно перевищувати 15 мм, а для штаб товщиною від 4,0 до 9,0 мм - 12 мм на довжині 1 м сталі, що поставляється в листах.

Телескопічность рулонів не повинна перевищувати 100 мм для штаб товщиною 2,0 - 2,5 мм і 70 мм для штаб товщиною 2,6 - 9,0 мм.

Різнотовщинність крайок, виміряна на відстані 5 і 40 мм від кромки, не повинна перевищувати 0,10 мм.

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

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

На стані проводиться прокатка штаб, з наступних марок сталі:

- Киплячі, напівспокійну, спокійні (наприклад 08кп, 3сп, 10пс);
- Низьколеговані (наприклад 10ХНДП, 09Г2);
- Високолеговані (ЕІ712, ЕІ659, 40Х3М2ФА);
- Нержавіючі сталі (наприклад 12Х18Н10Т).

1.2. Технологічний процес прокатки на БТЛС 1680

Сляб поступає безпосередньо після прокатки на слябінг (через похилий транспортер) або зі складу слябів на верхній пічної рольганг, потім в методичні печі. Нагрівання ведеться до температури 1250 ºС.

Таблиця 1.2 - Допустимі максимальні обтиснення по клітях чорнової групи в залежності від ширини сляба.

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

Так як на безперервний тонколистовий стан всі 10 робочих клітей розташовані один за одним, прокочується метал рухається на стані суцільним потоком по одній лінії.

У чорновій групі стану гуркіт знаходиться одночасно лише в одній кліті. Чорнової і чистової окалиноломателі "зламують" окалину, яка потім видаляється водою високого тиску. Крім того, чорновий окалиноломатель як і робоча кліть, виробляє обтиснення до 25%. Кліті з вертикальними валками забезпічують зняття уширення, одержуваного при деформації розкату горизонтальними валками.

Гуркіт з чорнової групи надходить до летючим ножиць для обрізи переднього і заднього кінця. Потім захоплюється валками чистової групи, а саме чистовим окалиноломателем і першою кліттю чистової групи. В чистовій групі штаба знаходиться одночасно у всіх клітях. Для забезпічення нормального процесу прокатки забезпічується рівність секундних обсягів.

Так як ширина штаби практично не змінюється, то рівність секундних обсягів буде виконуватися.

Перед змотуванням в рулони штаба охолоджуються. Охолодження штаб в душирующего установці. Температуру смотки штаби оператор змотувачів регулює шляхом включення / виключення певної кількості верхніх і нижніх ванн душирующего установки.

Змотка штаби в рулони забезпічує щільне пріліченіе витків рулону один до одного з телескопічностью в межах стандартів, технічних умов і стандартів підприємства.

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

Не допускається смотка штаб в рулони:

- При наявності наварів на роликах моталки;
- При відсутності води, що охолоджує ролики і барабан моталки;
- При відсутності натягу при смотка;
- Підстилі штаб товщиною більше 5 мм з температурою менше 4900С;

- При наявності складок на смузі, загнутого переднього кінця штаби, наявності на смузі сторонніх предметів;

- При наявності ударів барабана об формують ролики;

- При виробленні тягнучих і формують роликів більше 2 мм по діаметру.

Після смотки штаби рулон виштовхується Штовхувачі на ріг контователя і далі Кант на приймальню візок.

Рулон на приймальні візку транспортується до конвеєра, де за допомогою приймача рулонів встановлюється на ланцюга конвеєра.

Рулон по транспортується конвеєру рухається до підйомно-поворотного стола № 1. Після підйомно-поворотного стола № 1 рулон, призначений для подальшого переділу в ЦГПТЛ, транспортується по поворотному конвеєру і надходить на транспортує конвеєр в проліт складу рулонів.

Цех гарячої прокатки тонкого листа призначений для отримання товарних і передільних гарячекатаних листів і рулонів.До складу цеху входять безперервний тонколистовий стан 1680 і гаряча лістоотделка.

Включає в себе методичні нагрівальні печі, власне стан 1680, ділянку підготовки валків.

Сортамент:

Розміри слябів (105 - 165) х (850 - 1500) х (2000 - 4700) мм.

Розміри гарячекатаних штаб і листів:(1,5 - 6) х (850 - 1500) х (1400 - 6000) мм.

Прокат для виробництва холоднокатаного листа - рулони перетином:(2 - 4) х (850 - 1500) мм.

На стані проводиться прокатка штаб з наступних марок сталей:

-киплячі, напівспокійну і спокійні конструкційні: 08кп(пс) - 25кп(пс); 8-25 та ін.

-рядові вуглецеві сталі (киплячі, напівспокійну і спокійні): 1КП (пс) - 3кп (пс); 1 - 3 та ін.

-низьколеговані спокійні: 10 - 16Г2, 10ХНДП, 09Г2 і ін.

-високолеговані сталі: ЕІ712, ЕІ659, 40Х3М2ФА та ін.

-нержавіючі сталі: 08 - 12Х18Н10Т, 12Х21Н5Т, 10Х14АГ15 та ін.

Хвостова частина стану складається з наступного обладнання: змотувачів (6 штук), свертних машин (3 штук), що транспортують рольгангів і конвеєрів, душирующего пристрої, підйомно-поворотного стола, ролікоправільних машин, летких і гільйотинних ножиць, складальних кишень. З'єднувальні машини № 1,2,3 - роликові, кількість роликів - 6. Призначені для змотування штаб нержавіючих і легованих сталей товщиною 3,0 - 2мм.

Внутрішній діаметр рулону - 700мм, максимальна вага - 5,6 т.Моталки № 4,5,6 - ролико-барабанні. Призначені для змотування штаб вуглецевих сталей товщиною 1,8 - 6,0 мм. Мінімальна температура смотки штаб - 6000С. Кількість роликів - 8. Діаметр барабана - 750мм. Максимальна вага рулону - 15т. Моталки 4А, 5А, 6А - ролико-барабанного типу. Призначені для змотування штаб вуглецевих сталей завтовшки 1,7 - 8,0 мм, при температурі штаби 500 - 8000С. Швидкість смотки до 15 м / сек; діаметр барабана - 700мм. Кількість формують роликів - 4. Максимальна вага рулону - 7,5 т. Рольганг від кліті № 10 до свертних машини № 1 має довжину 105м, а від свертних машин № 1,2,3 до моталки № 4 - 124м. Летючі ножиці. Кількість - 2. Вони розташовані в лінії лівого і правого відвідних рольгангів і призначені для порізки на аркуші з нержавіючої та легованої сталі товщиною до 5мм. Штаби товщиною 5,1 - 6,0 мм, а також більш тонкий (більш товстий) металу окремих марок ріжеться на листи на гільйотинних ножицях, розплодженим в лініях лівого і правого відвідних рольгангів. Ні гільйотинних ножицях можна різати штаби товщиною до 10,2 мм. У лінії бічних рольгангів розташовані також ролікоправільние машини для редагування штаб і листів (по 2 машини на кожній стороні).Підйомно-поворотний стіл з вантажопідйомністю 25т призначений для передачі рулонів з відвідного від змотувачів конвеєра в ЦГПТЛ (для переділу на гарячекатаний лист) і в ЦХП-1 (для переділу на холоднокатаний лист). Підготовка валків до прокатці проводиться на спеціальній дільниці, що включає в себе 2 верстати для обдирання поверхні валків, 2 верстати для шліфування

поверхні, майданчики огляду та ревізії подушок, а також стелаж для розбирання та збирання валків.

Технологія нагріву слябів І прокатки гарячекатаних штаб посадка слябів в методичні печі виробляється у відповідності з графіком прокатки. Сляби надходять безпосередньо після прокатки на слябінг або зі складу слябів на верхній пічної рольганг, а звідси - в методичні печі. Просування слябів через печі проводиться за допомогою штовхачів. Спочатку (у методичній зоні) нагрівання здійснюється за рахунок відпрацьованих газів. У міру просування слябів через печі їх температура поступово збільшується. Швидкість просування слябів в печі, температура в печі і т.д. задаються нагревальщікамі печей за допомогою контрольно-вимірювальних приладів. На кінцевому етапі нагріву сляби проходять через томильную зону, де відбувається вирівнювання температури по перетину металу.Нагріті сляби падають на нижній пічної рольганг, а звідси - на стан.

При нагріванні металу необхідно забезпічити повне згоряння газу, виключити оплавлення поверхні слябів. У чорновій групі стану гуркіт знаходиться одночасно лише в одній кліті, а в чистовій групі - у всіх 6-ти клітях. Чорнової і чистової окаліноломателі «зламують» окалину, яка потім видаляється водою високого тиску. Крім того, чорновий окаліноломатель використовується також і як робоча кліть, виробляючи обтиснення до 25%. Кліті з вертикальними валками повинні забезпічити зняття розширень, одержуваного при деформації розкату горизонтальними валками. Обтиснення у вертикальних валках 15 - 25мм. Гуркіт після прокатки в чорновій групі надходить до летючим ножиць для обрізи переднього і заднього кінців, потім захоплюється валками чистового окаліноломателя і першої кліті чистової групи (кліть № 5) і далі - всіма іншими клітями.

Таблиця 1.3. - Допустимі обтиснення по кліті чистової групи наведені нижче (%).

№ кліті	При ширині штаби, мм	
	до 1200	от 1200 до 1500
5	50	45
6	50	45
7	40	35
8	40	35
9	25	25
10	15	15

Для забезпічення якісного профілю проводиться обов'язкова перевалка робочих і опорних валків клітей стана, а плющення проводиться строго по ширині, тобто після перевалки прокочуються спочатку широкі штаби, а потім ширина штаб поступово зменшується і перед наступною перевалкою прокочуються найбільш вузькі штаби.ГАРЯЧА ЛІСТООТДЕЛКАВключає в себе два агрегати поперечної різання, два агрегати подовжнього різання, один травильний агрегат та інше допоміжне обладнання. Агрегати поперечного різання призначені для порізки гарячекатаних штаб в рулонах на аркуш завдовжки 1500 - 6000мм.

Таблиця 1.4 - Основні техніко-економічні показники стана.

Продуктивність	530т/час
Собівартість 1т гарячекатаноїштаби з вуглецевих сталей	800грн.
Витрата слябів на 1т гарячекатаноїштаби з вуглецевих сталей	1026 кг/т

Агрегати повздовжнього різання призначені для отримання з рулону шириною 1000 - 1500мм, рулонів шириною 40 - 500мм, які використовуються як заготовки в ОГП, заготовки для трубних заводів, в якості пакувальної стрічки та інших цілях.

1.3. Аналіз «вузьких місць» та заходи щодо реконструкції.

Відсутня система узгодження швидкостей прокатки суміжних клітей.

Відсутня система контролю і регулювання натягу штаби. Конструкція редуктора кліті 10 не дозволяє збільшити швидкість прокатки більш 9,2 м / с.

При русі розкату по проміжному рольгангу формується значний температурний клин на вході в чистову групу табору, особливо при прокатці рулонів подвоєною маси.

Відсутні системи автоматичного регулювання товщини і форми штаб.Існуючі системи протівоізгіба робочих валків на клітях 8-10 через конструктивні особливості не дозволяють збільшити зусилля протівоізгіба більше 90 тонн.

Існуючі системи противозгину працюють тільки в ручному режимі управління і не забезпічують оперативного регулювання площинності штаб.

Відсутні засоби контролю площинності прокатаних штаб.

Недостатня жорсткість станин робочих клітей чистової групи (400-450 т / мм).

Високий темп прокатки і існуюча система охолодження робочих валків клітей чистової групи (витрата води не більше 3500 м3/год) обумовлюють температуру валків до 80-900С, що не дозволяє використовувати робочі валки з сучасних зносостійких матеріалів.

Фізико-хімічні показники води не дозволяють використовувати сучасні високоефективні системи охолодження і гідрозбиву.Існуючий швидкісний режим прокатки не забезпічує необхідну температуру кінця прокатки штаб товщиною 2,7 мм і менше.

При транзитній прокатці має місце не рівномірний розподіл температури по довжині гуркотів і в межах прокатуваної партії (плавки) штаб.Відсутні ефективні засоби для заощадження тепла металу, що прокочується способом транзитної прокатки.

Через відсутність системи межклетевого охолодження штаби проводиться зниження швидкості прокатки на 10-30% для забезпічення необхідної температури кінця прокатки товстих (4-8 мм) штаб спеціального призначення.

Відсутня система механізованої перевалки робочих валків клітей чистової групи, що призводить до втрат виробництва і не забезпічує рекомендовані терміни межперевалочного періоду роботи валків.

Підвищений охолодження крайок штаб (гуркотів) при транзитній прокатці. Недостатня обжимається здатність 6-клітьовою чистової групи сталі. Використання роликових підшипників опорних валків. Використання чавунних робочих валків недостатньою твердості (70-73 HRS). Використання опорних валків недостатньою твердості (40-45 HRS).

Недосточності довжина проміжного рольганга, що не дозволяє прокатувати сляби подвоєною маси на штаби товщиною 2,5 мм і менше.

Викладено основні положення моделі розрахунку профілювання валків тонкоштабових станів кварто із застосуванням методу кінцевих елементів і результати її застосування при розробцінових профіліровок валків.

Даний метод дозволяє визначити шліфувальні профілювання валка складної форми, яка значною мірою усуне нерівномірність обтиснень і витяжок

по ширини прокочуємої штаби. Подібну профілювання можна виконати на Вальцешліфувальних верстати з числовим програмним управлінням.

Від шліфувального профілювання валків залежить рівномірність відносних обтиснень по ширині прокочуємої штаби, тобто можливість отримати лист з кращіми показниками по коробоватості, хвилястості, поперечної різнотовщинності. У більшості листопрокатних цехів вибір вихідного шліфувальнго профілювання валків заснований на емпіричному підході та практичному досвіді.

У процесі прокатки на шліфувальний профіль валків накладаються нерівномірні по довжині бочки пружні деформації і тепловізмінипрофілю бочки. В результаті формується міжвалкова щілина, профіль якої в кінцевому підсумку визначає геометрію прокатуваємої штаби.Цей профіль при роботі стану безперервно змінюється під впливом коливань швидкостей, обтиснень, натягів, температури штаби і валків, а також зносу поверхонь їх бочок, що призводить до порушень площинності штаби. Для його стабілізації стани оснащують системами управління профілем і формою штаб.

Однак діапазони впливу цих систем обмежені, їх ефективність багато в чому залежить від правильного вибору вихідної шліфувальногопрофілювання валків. Для зменшення елемента емпірики в цьомупроцесі необхідно мати методику моделювання шліфування опуклості в залежності від заданих параметрів режиму прокатки. Це особливо актуально при освоєнні на діючих станах новихвидів сортаменту аркушів і при переході на новістандарти, коли потрібно зменшити допуски на різнотовщинність і неплощинність.

Наявність достовірної розрахункової моделі шліфувального профілювання в цихвипадках дозволить скоротити витрати часу та коштів на промислове освоєння нових технологічних режимів.

Методика моделювання профіліровок валків, заснована на аналітичних розрахунках, викладена в роботі. Там шліфувальні профілювання (без

урахуваннязносу) запропоновано визначати методом суперпозиції кривих пружної деформації бочки валка і її теплового профілю з урахуванням необхідної опуклості профілю прокочуєтьсяштаби. Форма кривої теплового профілю, знайдена з використанням методу електротеплової аналогії, відрізняється від параболічної, а форму кривої пружної деформації бочки в методиці приймають у вигляді плавної параболи.

Однак при такій методиці можна аналітично розрахувати з мінімальною похибкою пружні і теплові деформації подовжині валка тільки в п'ятифіксованих перетинах: в середині, на контакті з кромками штаби і по торцях.Однак для виключення локальних спотворень формиактивних утворюючих бочок робочихвалків (опуклістьабоувігнутість), що викликають місцеві відхилення від плавної форми поперечного профілюштаби, і як наслідок, дефекти неплощинності, доцільно мати методику побудови профілю бочки у вигляді безперервної кривої.

Для розробки такої методики був застосований один з методів чисельного моделювання напружено-деформованого стану пружних тіл - метод кінцевихелементів (МКЕ), реалізований у комп'ютерній програмі ANSYS [2]. При моделюванні валкового вузла кліті кварто - основного типу робочої кліті широкоштабових станів - в силу симетрії що до осі прокатки достатньо створити сіткову модель однієї пари валків (опорного та робочого).

Для того щоб отримати активну утворюючу робочого валка в контакті з штабою у вигляді безперервної кривої, бочки сіткових моделей всіх валків виконали з вихідними (прийнятими за технологією) шліфувально профилировкой, що мають максимальні значення опуклостей або вогнутостей в середині бочки.Початкова міжосьова відстань між віртуальними робітникам і опорним валками z задавали з умови, щоб до додатка робочого навантаження (сили прокатки) валки стикалися точками профілів бочок, приналежними перетинах з максимальними діаметрами:

з опуклим профілюванням:

$$z = 0{,}5\ (D_{оп.\ з} + D_{р.с}), \quad (1)$$

з ввігнутим профілюванням:

$$z = 0{,}5\ (D_{оп.\ до} + D_{р.с}). \quad (2)$$

Потім до сіткової моделі валкового вузла доклали робочі навантаження:з боку штаби погонное тиск q = P / Iоп, де P - сила прокатки, Iоп - ширина штаби;з боку натискних пристроїв реактивні сили R1 = R2 = P / 2, прикладені до шийок опорного валка в місці установки підшипникового вузла.

У навантаженому стані у сіткової моделі осі підшипників закріпили за типом жорсткої закладення у опорного валка, але з можливістю переміщення уздовж вертикальної площини перерізу у робочого валка.При зазначених навантаженнях в кожній точці робочого і опорного валків за програмою визначили величину пружної деформації (зміни її положення від вихідного, ненавантаженого стану), що дало можливість отримати криву пружних деформацій робочого валка в контакті з прокатуваної штабою.

Оскільки в клітях кварто опорні валки зазвичай мають конічні скоси по краях, були створені і досліджені два варіанти сіткової моделі валкового вузла 5-й кліті пятиклетевом табору гарячої прокатки 1700. Взяли номінальні розміри бочок робочого (діаметр Dp = 600 мм і довжина Lp = 1700 мм) і опорного валків = 1500 мм і Lоп = 1600 мм), ширину штаби Iоп = 1300 мм, товщину h = 1 мм. Для підвищення точності визначення пружних деформацій врахували наявність фасок по торцях бочок: у робочого валка довжиною по20 мм, у опорного - по 40 мм. Таким чином, фактичні довжини бочок склали: Lp = 1680 мм; Lоп = 1520 мм.У першому варіанті моделі опорний валок мав конічні скоси розміром 100х2, 5 мм згідно з кресленням реального валка; в другому варіанті валок був без скосів.

Шліфувальні профилировки валків задавали в застосовуваних на виробництвідіапазонах: у опорного валка була параболічна бочка з опуклістю

Dшл. оп = 0,4 мм, у робітника валка - опукла, циліндрична або увігнута з опуклістю (увігнутістю).Змодельовані криві пружних деформацій бочки робочого валка з Dшл. р = 0,1 мм в контакті з штабою.

Аналіз кривих показав:допущення, прийняте в методиці про плавну параболічної формі кривої пружною деформації по довжині бочки робочого валка в контакті з штабою потребує корегування: криві на рис. 1 мають неплавний і непараболическую форму. Найбільша пружна деформація спостерігається на середній ділянці бочки довжиною близько 0,9 п, де криві змінюються плавно. За межами цієї ділянки, в зонах контакту з бічними крайками штаби, криві мають різкі перепади в напрямку до торців бочки.

При опорних валках з скосами нерівномірність пружних деформацій робочих валків знижується: так, різниця деформацій у середині бочки і в перетинах контакту з крайками штаби стає в 1,5 рази менше (крива 2 на рис. 1). Це пояснюється тим, що прийнята довжина міжвалкового контакту близька до ширини штаби.Кожна з кривих пружних деформацій робочого валка, показаних на рис. 1, була геометрично підсумовано з кривою теплового профілю його бочки, в результаті був отриманий остаточний профіль бочки верхнього робочого валка у вертикальній осьовій площині (з активною що утворює на контакті з штабою). Це побудова і його результати показані на рис. 2 для двох варіантів опорного валка: а - з скосами довжиною по 100 мм, б - без скосів.

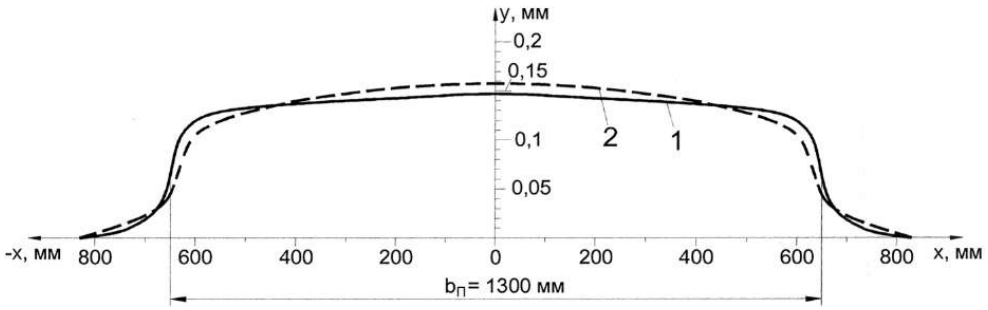

Рисунок 1.1 - Криві пружних деформацій верхнього робочого валка п'ятої кліті стану 1700 у вертикальній площині при прокатці штаби 1х1300 мм:1 - опорні валки з скосами довжиною по 100 мм; 2 - опорні валки без скосів; х - відстань від середини бочки; у - пружні деформації точок поверхні щодо деформації країв бочки

Крива теплового профілю 3 на рис. 2 виготовлена за методикою роботи, згідно з якою теплової профіль при рівномірних обтисненнях по ширині штаби має постійну величину в середній зоні бочки, довжина якої дорівнює приблизно 2/3 ширини прокочується штаби, а за межами цієї зони різко зменшується в напрямку торців бочки.

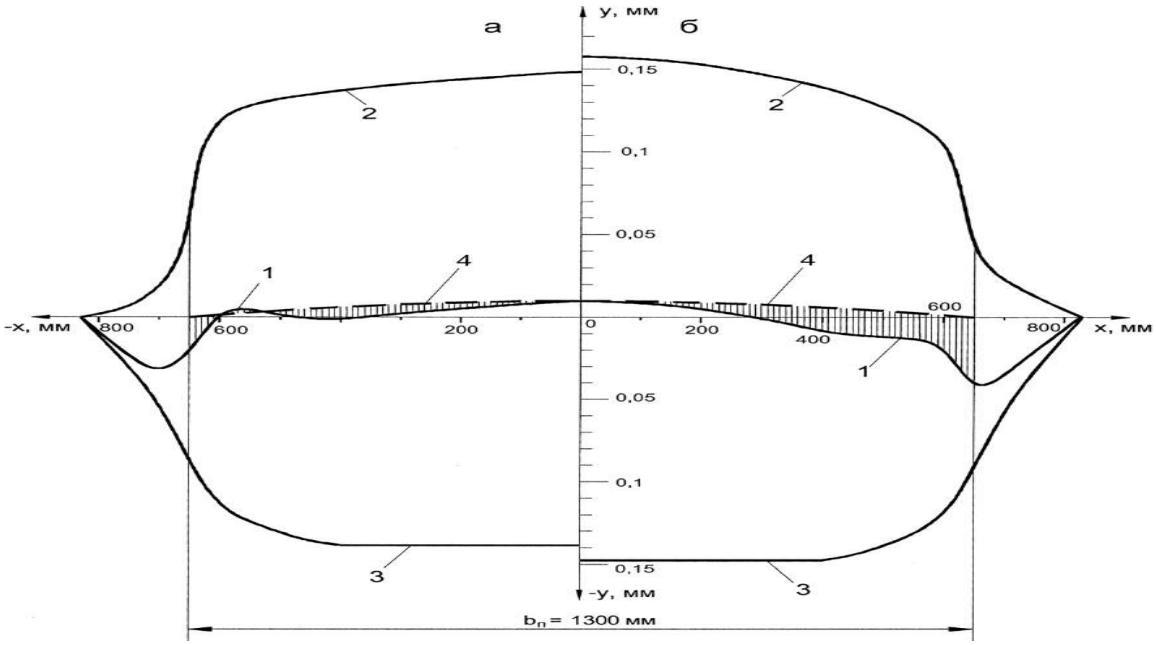

Рисунок 1.2 - Активна утворює робочого валка 1, отримана шляхом суперпозиції кривих пружною деформації 2 і теплового профілю 3 для двох варіантів опорного валка:а - з скосами довжиною 100 мм; б - без скосів (задана опуклість поперечного профілю штаби 8Dоп = 0,02 мм, 4 - нормативна форма поверхні поперечного профілю штаби.

Величини пружною деформації та теплової опуклості в середині бочки на практиці задають такими, щоб їх різниця була дорівнює необхідної опуклості поперечного профілю штаби.При побудові активних утворюють на рис. 2.

При використанні опорних валків як зі скосами, так і без скосів форма активнотвірної не є плавною і істотно відрізняється від плавної нормативної форми зовнішньої поверхні поперечного профілю штаби. Місцеві відхилення товщини на ширині штаби становлять: у варіанті а (зі скосами) до -0,02 мм, у варіанті б (без скосів) до -0,04 мм. Максимальна нерівномірність обтиснень (а,

отже, і витяжок) по ширині штаби буде спостерігатися: у варіанті а - на відстані 80 мм, у варіанті б - на відстані 200 мм від бічних крайок штаби. Виконання плавної шлифовочнойпрофилировки робочих валків (незалежно від того, виконуєтьсячи вона опуклою, увігнутою або циліндричної) не забезпічує плавної форми поверхні поперечного профілю штаби, так як криві пружною деформації і теплового профілю бочки мають неплавний, непараболическую і неоднакову форму.

Застосування МСЕ для побудови кривих пружною деформації валків і їх активних утворюють створює можливість підбору для кожного профіль розміру сортаменту стана таких шліфувальних профіліровок валків і режимів їх охолодження, які значною степенню усувають нерівномірність обтиснень та витяжок по ширині прокочується штаби.

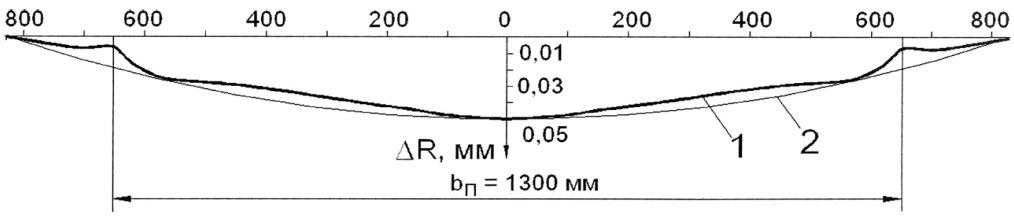

Рисунок 1.3 - Скоригований шліфувальна профіліровка робочого валка з опуклістю Dш. р = 0,1 мм:1 - скоригований профіль; 2 - звичайний профіль (опорний валок з скосами 2,5 х100 мм; ΔR - відхилення радіуса бочки від мінімального значення)Найефективніший метод вирішення цього завдання - виконання шліфувальних профіліровок робочих валків не у вигляді плавних кривих, а зі западинами і опуклостями, дзеркально протилежними відхиленнями від плавної форми активних утворюють, показаних на рис. 2.

Варіант такої скоригованої профилировки зі шлифовочной опуклістю Dш. р = 0,1 мм зображений на рис. 3.При використанні вальцешліфувальних верстатів з числовим програмним управлінням виконання подібної профилировки не викличе утруднень.Суперпозиціякривої пружною деформації робочого валка з профилировкой, що на рис. 3, і його теплового профілю дає

активну утворить з відхиленнями від плавної форми, що не перевищують 0,005 мм.

Деякі результати викладеної методики були використані при вдосконаленні технологічного режиму безперервного пятиклетевого стану холодної прокатки 1700 ВАТ «Северсталь». Мета дослідження полягала в усуненні на аркушах автомобільного сортаменту шириною понад 1400 мм світлих прикромочних штаб з шорсткістю поверхні Ra = 2,2-3,0 мкм, що перевищує допустиме значення Атаху = 1,9 мкм. Було встановлено, що причиною даного дефекту є знижений тиск на робочий валок з боку опорного на ділянках, де виконані скоси. Було вирішено відмовитися від таких скосів біля опорних валків п'ятої кліті, компенсувавши їх збільшенням опуклості в середині бочки, і перерахувати профилировки робочих валків п'ятої кліті для всього діапазону ширини і товщини сортаменту стана.

Шлифовочной опуклість опорного валка варіювали в реальному діапазоні, виявленому на практиці: Dш. оп = 0,3-0,6 мм. Шліфувальні опуклості робочих валків визначали згідно з наведеною вище методикою за допомогою програми ANSYS для кожного варіанту Dш. оп при одночасному виконанніі двох умов прокатки:1. Виключення контакту країв бочок верхнього і нижнього робочих валків.2. Поперечна разнотолщинность штаби не повинна перевищувати допустимого значення, яке для листів автомобільного сортаменту становить 2% від номінальної товщини.

Розраховані з дотриманням цих умов шліфовочні опуклості робочих валків коректували при прокатці, щоб виключити появу неплощинності на смузі.Остаточні значення шліфувальних опуклостей приймали з урахуванням можливості часткової компенсації різниці між фактичною опуклістю і необхідної за умовою площинності за допомогою системи гідроізгіба робочих валків.

Промислові випробування скоригованих профіліровок та їх впливу на шорсткість холоднокатаних штаб проводили у п'ятій кліті стану 1700 протягом трьох місяців - з листопада 2010 р. по січень 2011 р. за цей період в кліті відпрацювали чотири межперевалочние кампанії опорних валків.В результаті вненормативная шорсткість з показником Ra> 1,9 мкм на поверхні прикромочних ділянок штаб шириною більше 1400 мм була усунена; в період випробувань також було відсутнє збільшення відсортовування металу за неплощинності і іншим дефектам, в тому числі при виробництві листів мінімальних товщин (до 0, 28 мм) і ширин (990-1015 мм).

Ще одним результатом проведених досліджень із застосуванням МСЕ стало впровадження на стані гарячої прокатки 2000 ВАТ «Северсталь» скоригованих увігнутих профіліровок валків чистової групи, які забезпічують виконання жорстких вимог до поперечному профілю гарячекатаного підкату для гарячекатаних штаб автомобільного сортаменту поперечна опуклість гарячекатаного підкату не повинна перевищувати 1% від середньої товщини штаби.

У результаті розрахунків та випробувань угнутості робочих валків були зменшені на 0,02-0,05 мм, що дозволило знизити опуклість поперечного профілю штаб до необхідних значень без погіршення їх площинності.Оптимізація режиму гарячої прокатки сталевих штаб на широкоштабовому стані за критерієм «мінімум поздовжньої різнотовщинності»Для зменшення коливань товщини гарячекатаних штаб в безперервній групі клітей широкоштабового стану розроблені та реалізовані у вигляді комп'ютерних програм модель формування поздовжньої різнотовщинності і алгоритм оптимізації режиму прокатки.

Проведені на стані 1700 промислові випробування показали зниження поздовжньої різнотовщинності гарячекатаних штаб в 1,87 рази. Споживачі холоднокатаних широких штаб, у тому числі автомобілебудівники, зменшили допуски на коливання товщини по всій площі використовуваних листів. Їм потрібно автомобільний лист високої точності з відхиленнями товщини від

номінального (заданого) значення, що не перевищують ± 2,2%, у той час як ГОСТ 19904-90, яким керувалися раніше російські металургійні підприємства, допускає коливання товщини в діапазоні ± 5,5% .

Щоб зменшити більш ніж в 2 рази коливання товщини по всій площі листа, треба вирішити дві взаємопов'язані, але самостійні завдання: зменшити подовжню і поперечну різнотовщинності штаб. Оскільки разнотолщинность холоднокатаних листів залежить від різнотовщинності підкату, починати вирішення цих завдань необхідно з оптимізації технології гарячої прокатки.У даній статті розглянуто результати робіт, що виконувалися з метою зменшення поздовжньої різнотовщинності гарячекатаних штаб при прокатці на безперервному широкоштабовому стані (ШПС). Зазначимо, що питання зменшення поперечної різнотовщинності і в цілому коливань товщини по всій площі аркушів розглянуті в інших наших статтях.При вирішенні задачі зниження поздовжньої різнотовщинності керувалися слідуючи положеннями:

1. Система автоматичного регулювання товщини штаби має обмежені можливості як за діапазоном усуваються коливань товщини, так і в частині інерційності відпрацювання сигналів датчиків - вимірників товщини. Тому для максимально можливого зменшення її відхилень від номінальних значень необхідно оптимізувати процес налаштування табором, зокрема, розподіл сумарного обтиснення між його клітями.

2. Досвід налаштування ШПС показав, що мінімальна поздовжня разнотолщинность гарячекатаної штаби при її сталості у підкату досягається, якщо сумарне обтиснення у чистовій групі стана розподілити так, щоб в перших клітях були максимально можливі обтиску, а в останніх клітях - мінімально можливі.

Так, наприклад, у статті викладені результати перерозподілу обтиснень і натягів між клітями 6-клітьового ШПС 1680 при виробництві штаб товщиною 1,2-1,5 мм. Освоєння технології прокатки таких особливо тонких штаб призвело до зростання сумарних обтиснень, в результаті чого в робочих валках останніх клітей виникли дуже високі контактні напруги, небезпічні для їх стійкості. Щоб

розвантажити останні кліті, були перерозподілені приватні обтиску: у клітях 1-3 вони були збільшені, а в клітях 4-6 зменшені.

Одночасно збільшили міжклітьових питомі натягу із занадто низького рівня 1-2% до оптимального діапазону 10-12% від опору пластичної деформації металу. У результаті основна мета - знизити небезпічні для стійкості валків контактні напруги в останніх клітях стану - була досягнута, при цьому кілька збільшилися контактні напруги в перших клітях залишалися в допустимих межах.

Однак обробка результатів промислових випробувань удосконалених режимів прокатки показала, що, крім очікуваного, був отриманий незапланований, але не менш важливий результат: поздовжня разнотолщинность і разношірінность гарячекатаних штаб зменшилася в 1,7-2,0 рази.

Цей результат у статті був пояснений за допомогою графічної інтерпретації:На рис. 2 лінійна залежність (2) P1 від hi показана у вигляді прямої лінії 2. Сила P, необхідна для виконання обтиску, визначається графічно шляхом перетину вертикальної прямої, проведеної з точки hi на осі абсцис, з кривою 1 в точці a. Похила пряма 2, що виражає рівняння (2), проведена з точки a, визначає в точці перетину з віссю 0-hx величину Si - необхідного попереднього зазору валків (у показаному на рис. 1 випадку від'ємне значення Si означає, що при налаштуванні валки необхідно встановити «в забій», тобто пружно стислими).

Якщо через поздовжньої різнотовщинності підкату товщина штаби на вході в кліть збільшилася, то функція на рис. 2 буде представлена у вигляді кривої 3, а перетинання прямої 2 і кривої 3 станеться в точці a ', яка визначає величину поздовжньої різнотовщинності 5h. На виході з кліті і що виник при цьому коливання зусилля прокатки P. Модуль жорсткості кліті мкл на рис. 2 являє собою тангенс кута нахилу прямої 2. При збільшенні мкл рівняння пружної деформації кліті (2) займе положення прямої 4, а необхідний вихідний

зазор між валками дорівнюватиме S причому поздовжня разнотолщинность на виході з кліті зменшиться і стане рівною h '.

З вищеописаного методу графічного визначення поздовжньої різнотовщинності штаби (див. рис. 2) випливає, що величина залежить від номінальної товщини h, вихідної різнотовщинності на вході в кліть, обтиснення у кліті і модуля її жорсткості, причому при меншем зусиллі прокатки зменшується і величина.

Графіки, показані на рис. 2, дозволили авторам статті якісно пояснити, чому при перерозподілі сумарного обтиснення між клітями ШПС 1680 майже в 2 рази зменшилася поздовжня різнотовщінність гарячекатаних штаб. Цей ефект був досягнутий під впливом двох факторів. По-перше, збільшення сумарного обтиснення у трьох перших клітях істотно зменшило номінальну товщину штаби, що надходить в останні кліті. Це знизило коливання товщини на вході в останні кліті, так як між рівнем коливань товщини і її номінальним значенням є прямий (хоча і не пропорційна) залежність.По-друге, зменшення обтиснень в трьох останніх клітях знизило в них сили прокатки; це викликало в кожній з них зменшення пружної деформації під впливом поздовжньої різнотовщинності на вході в кліть. Так як в кожну наступну кліть штаба надходила з меншими коливаннями товщини, ефект зменшення поздовжньої різнотовщинності послідовно накопичувався, і до виходу з 6-ї кліті разнотолщинность стала мінімальною.

Що стосується додаткового завантаження трьох перших клітей, то в них, через більш високої температури і меншого наклепу, опір пластичної деформації менше, ніж в останніх клітях. Тому сили прокатки і пружні деформації в цих клітях підвищилися в меншій мірі, і деяке зростання поздовжньої різнотовщинності штаб на виході з перших клітей був перекритий її зменшенням в трьох останніх.Щоб досвідчений результат, викладений у статті, використовувати для зменшення поздовжньої різнотовщинності штаб на інших ШПС, необхідно підвести під нього теоретичну базу: розробити математичну модель формування поздовжньої різнотовщинності під час гарячої

прокатки, а потім використовувати цю модель для створення алгоритму оптимізації режиму прокатки по критерієм «мінімум продольної різнотовщинності».

У розробленій нами моделі формування поздовжньої різнотовщинності графічне визначення (див. рис. 2) замінено після-послідовності математичних операцій, виконуваних по черзі для всіх клітей ШПС або для його безперервної чистової групи.Проілюструємо цю модель на прикладі розрахунку поздовжньої різнотовщинності штаби з номінальною товщиною hi на виході з кліті безперервної клітьовою групи клітей, якщо на вході в кліть номінальна товщина дорівнює hi - 1, а поздовжня разнотолщинность виявилася рівною 8hi - 1.Алгоритм моделі включає:Розрахунок за допомогою пружнопластичної моделі енергосилових параметрів сили прокатки P1 за формулою для номінального режиму прокатки з обтисненням = hi-1 - h,. У результаті на графіку рис. 2 стає відомим положення точки а (координати h, і P,).Серію розрахунків за формулою значень Р. Якщо нерівність при якомусь кроці розрахунку виявилося виконаним, то крива 3 і пряма 2 на рис. 2 перетинаються в точці а ', координата якої на осі 0-hx визначає шукані значення поздовжньої різнотовщинності і товщини штаби на виході з кліті.

Викладену обчислювальну процедуру реалізують послідовно, починаючи з першої кліті безперервної групи. У цю кліть входить підкат з номінальною товщиною і фактичної поздовжньої разнотолщинностью. Величина отримана на виході з останньої кліті, і буде вихідним параметром моделі формування поздовжньої різнотовщинності гарячекатаної штаби. Алгоритм оптимізації режиму гарячої прокатки в безперервній групі клітей полягає в наступному.

Перший етап. Виходячи з встановленого досвідом принципу оптимізації - перерозподілу між клітями приватних обтиснень шляхом збільшення їх в перших клітях і зменшення в останніх, - безперервна група клітей умовно розбивається на дві підгрупи: з кількістю клітей $к_1$ і $к_2$. Якщо загальне число клітей парне, то $к_1 = к_2 = к / 2$, якщо до - непарне число, то $к_1 = (к / 2) +1$; $к_2 = (к / 2) -1$.

Для кожної кліті першої підгрупи, починаючи з першої, обчислювальна процедура організується таким чином, щоб з використанням моделі енергосилових параметрів процесу гарячої прокатки шляхом впорядкованого перебору можливих варіантів обтиснень підібрати таке максимально можливе приватна обтиснення, при якому розрахункові значення сили прокатки і потужності головного приводу не досягають граничних величин, зазначених у паспортній характеристиці робочої кліті.Результати першого етапу:

Максимально можливі для клітей першої підгрупи завантаження і сумарне обтиснення E_1.

Мінімально можлива товщина штаби, що входить у другу підгрупу клітей, і мінімально можливе в ній сумарне обтиснення E_{22}.

Другий етап. Впорядкований перебір можливих варіантів розподілу сумарного обтиснення E_{22} між клітями другої підгрупи. Технологічним обмеженням при цьому переборі є мінімально допустимий приватна відносне обтиснення Е, ш1п. Як правило, в останніх клітях чистових груп ШПС приймають Е, ш1п = 8%, так як при менших обтисненнях не забезпічується необхідна однорідність структури металу, що веде до зменшення його механічних характеристик через неоднорідність розмірів і форми зерен. При цьому прагнуть, щоб приватні обтиску від кліті до кліті зменшувалися і мінімальне обтиснення було в останній (к-й) кліті.

Результати другого етапу:

Набір вдосконалених варіантів розподілу E_{22} між клітями другої підгрупи при дотриманні всіх технологічних обмежень.

Третій етап. Використовують викладену вище модель формування поздовжньої різнотовщинності штаби. Спочатку її розраховують на виході штаби з першої підгрупи клітей, а потім для кожного удосконаленого варіанту розподілу обтиснень між клітями другої підгрупи розраховують і порівнюють між собою її значення на виході з безперервної групи клітей. З усіх удосконалених варіантів розподілу обтиснень вибирають оптимальний, забезпічує мінімальну разнотолщинность.

Викладені обчислювальні процедури були реалізовані у вигляді комп'ютерної програми, що складається з двох підпрограм: перша реалізувала модель формування поздовжньої різнотовщинності штаби, друга - алгоритм оптимізації режиму прокатки. Ця програма була застосована на діючому 10-клітьовому таборі 1680, що має чистову групу у складі шести клітей (з № 5 по № 10) для зменшення поздовжньої різнотовщинності штаб, службовців підкатом при виробництві холоднокатаних листів. Згідно із зазначеним вище методом, чистові кліті були умовно розділені на дві підгрупи: перша - у складі клітей № 5-8; друга - у складі № 9-10.Враховані при моделюванні обмеження технологічних параметрів, встановлені на підставі практичного досвіду і паспортних даних обладнання, наведено в табл. 1.Промислові випробування проводили при прокатці штаб зі сталі 08пс шириною 1278 мм і товщиною 2,0 мм з розкату товщиною 36,55 мм. Обробка даних системи автоматичного контролю товщини («томографа») показала, що максимальні відхилення від номінальної товщини штаби на вході в чистову групу цього табору (тобто після кліті № 4 чорнової групи) становили: h5 = 1,62 мм (4, 43%). При робочому режимі обтиснень (згідно нормативної документації = 0,028 мм (1,4%).

При оптимізації режиму прокатки, виконаної за результатами комп'ютерного розрахунку за вказаною програмою, були також збільшені міжклітьових питомі натягу до оптимального рівня (10% від величини). Удосконалення виробництва низьковуглецевих гарячекатаних штаб при прокатці з підвищеним прискоренням.У зв'язку з умовами сучасних ринкових відносин між металургійними компаніями та споживачами збільшення обсягів виробництва і підвищення якості продукції, одержуваної на (НШСГП), є актуальним завданням.

Отримання і стабілізація необхідних механічних властивостей по всій довжині прокатуваних штаб - один із способів підвищення якості продукції.В даний час при прокатці штаб на НШСГП другого покоління загальноприйнята стратегія підтримки температури кінця прокатки по довжині штаби на постійному рівні. Ця сталість забезпічується прискоренням порядку 0,02-0,03

м/с2. Режим гарячої прокатки з підвищеним прискоренням спрямований на підвищення температури кінця прокатки (Ткп) від переднього кінця штаби до заднього, забезпічуючи тим самим «зворотний температурний клин». Застосування підвищеного прискорення скорочує машинний час прокатки в чистовий групі клітей, яка є вузьким місцем у лінії стану.

При прокатці штаб з прискоренням і стабілізацією Ткд виникає неоднорідність структури ринкових відносин між металургійними компаніями та споживачами збільшення обсягів виробництва і підвищення якості продукції, одержуваної на (НШСГП), є актуальним завданням.

В даний час при прокатці штаб на НШСГП другого покоління загальноприйнята стратегія підтримки температури кінця прокатки по довжині штаби на постійному рівні. Ця сталість забезпічується прискоренням порядку 0,02-0,03 м/с2. Режим гарячої прокатки з підвищеним прискоренням спрямований на підвищення температури кінця прокатки (Ткп) від переднього кінця штаби до заднього, забезпічуючи тим самим «зворотний температурний клин».

Застосування підвищеного прискорення скорочує машинний час прокатки в чистовий групі клітей, яка є вузьким місцем у лінії стану.Порівняння температурно-швидкісних режимів для гарячекатаних штаб товщиною 3 мм із сталі марки 08Ю представлено на рис. 1. При прокатці штаб з прискоренням і стабілізацією Ткд виникає неоднорідність структури від переднього кінця штаби до заднього. Це пов'язано з істотною зміною температурно-швидкісного режиму в чистовій групі клітей у зв'язку з прокаткою рулонів великої маси (до 36 т).

У міру підвищення швидкості прокатки тривалість междеформаціонних пауз зменшується, що призводить до зміни умов протікання статичної рекристалізації в міжклітьових проміжках. При прокатці тонких і найтонших штаб з низьковуглецевої сталі, коли температура металу в останніх міжклітьових проміжках істотно знижується, а час пауз між деформаціями складає долі секунди, процес рекристалізації не встигає пройти повністю.

Це призводить до різнозернисті структурі по довжині штаби. Прокатка з підвищеним прискоренням дозволяє отримувати рівномірну по довжині ступінь рекристалізації металу на вході кожної наступної кліті, а отже, і рівномірну величину зерна аустеніту на виході з табору. Величина прискорення залежить від марки сталі, товщини штаби, конструктивних особливостей проміжного рольганга і чистової групи сталі.

2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

2.1. Розрахунок режимів обтисків

Таблиця 2.1 - Вихідні дані:

h_0,мм	$h_п$, мм	$b_п$, мм	Марка сталі
160	1,0	1000	08Ю

Визначаємо величини відносних обтисків по проходах в чорновій групі клітей на основі даних підприємства:

$$E_{дуо} = 20\% , \quad (2.1)$$

E_1=35%,

E_2=35%,

E_3=35%,

E_4=30%.

Визначаємо товщину смуги в чорновій групі клітей:

$$h_{дуо}=h_0(1 - E_{дуо}) = 160\ (1 - 0,2) = 128\ мм, \quad (2.2)$$

$$h_1=h_{дуо}(1 - E_1) = 128\ (1 – 0,35) = 83,2\ мм,$$

$h_2=h_1(1 - E_2) = 83,2\ (1 – 0,35) = 54,1$ мм,

$h_3=h_2(1 - E_3) = 54,1\ (1 – 0,35) = 35,2$ мм,

$h_4=h_3(1 - E_4) = 35,2\ (1 – 0,3) = 24,6$ мм.

Визначаємо обтиски в чорновій групі клітей:

$$\Delta h_{дуо}=h_0 - h_{дуо} = 160 – 128 = 32 \text{ мм}, \quad (2.3)$$

$\Delta h_1=h_{дуо} - h_1 = 128 – 83,2 = 44,8$ мм,

$\Delta h_2=h_1 - h_2 = 83,2 – 54,1 = 29,1$мм,

$\Delta h_3 =h_2 - h_3 = 54,1 – 35,2 = 18,9$ мм,

$\Delta h_4=h_3 - h_4 = 35,2 – 24,6 = 10,5$ мм.

Визначаємо розширення в чорновій групі клітей:

$$\Delta b_{дуо}=0,35\frac{\Delta h_{дуо}}{h_0} \times \sqrt{R\Delta h_{дуо}} = 0,35 \times 0,2 \times 120 = 10 \text{ мм}, \quad (2.4)$$

$\Delta b_1=0,35\frac{\Delta h_1}{h_{дуо}} \times \sqrt{R\Delta h_1} = 0,35 \times 0,35 \times 145,9 = 27$мм,

$\Delta b_2=0,35\frac{\Delta h_2}{h_1} \times \sqrt{R\Delta h_2} = 0,35 \times 0,35 \times 111,2 = 21$мм,

$\Delta b_3=0,35\frac{\Delta h_3}{h_2} \times \sqrt{R\Delta h_3} = 0,35 \times 0,35 \times 75,7 = 14$мм,

$\Delta b_4=0,35\frac{\Delta h_4}{h_3} \times \sqrt{R\Delta h_4} = 0,35 \times 0,30 \times 55,7 = 8$мм.

Визначаємо загальну величину поширення в чорновій групі клітей:

$$\sum\Delta b=\Delta b_{дуо}+\Delta b_1+\Delta b_2+\Delta b_3+\Delta b_4=10+27+21+14+8=80мм. \quad (2.5)$$

Визначаємо величину обтисків у вертикальних клітях:

$$\sum\Delta h_в = b_0 - b_n + \sum\Delta b = 1210 - 1230+80= 60мм. \quad (2.6)$$

Розподіляємо обтиски у вертикальних клітях:

$$\sum\Delta h_в = 25+20+15 = 60 \text{ мм} .$$

Визначаємо ширину смуги по проходах в чорновій групі клітей:

$$b_4= b_3 - \Delta h_{в_3}+\Delta b_4 =1007 - 15+8 = 1000 \text{ мм}. \quad (2.7)$$

Визначаємо площі поперечних перерізів смуги в чорновій групі клітей:

$$F_{дуо}=h_{дуо} \times b_{дуо} = 128 \times 1240= 158720 \text{ мм}^2, \quad (2.8)$$

$F_1 = h_1 \times b_1 = 83,2 \times 1267 = 105414,4$ мм^2,

$F_2 = h_2 \times b_2 = 54,1 \times 1263 = 68303$ мм^2,

$F_3 = h_3 \times b_3 = 35,1 \times 1257 = 44186,1$ мм^2,

$F_4 = h_4 \times b_4 = 24,6 \times 1250 = 30762,5$ мм^2.

Визначаємо витягування в чорновій групі клітей:

$$\mu_{дуо} = \frac{F_0}{F_{дуо}} = 1,24, \quad (2.9)$$

$$\mu_1 = \frac{F_{дуо}}{F_1} = 1,51,$$

$$\mu_2 = \frac{F_{в1}}{F_2} = 1,54,$$

$$\mu_3 = \frac{F_{в2}}{F_3} = 1,54,$$

$$\mu_4 = \frac{F_{в3}}{F_4} = 1,43.$$

Визначаємо кути захоплення в чорновій групі клітей:

$$\alpha_{дуо} = 57,3\sqrt{\frac{\Delta h_{дуо}}{R}} = 15^0, \quad (2.10)$$

$$\alpha_1 = 57,3\sqrt{\frac{\Delta h_1}{R}} = 17^0,$$

$$\alpha_2 = 57,3\sqrt{\frac{\Delta h_2}{R}} = 15^0,$$

$$\alpha_3 = 57,3\sqrt{\frac{\Delta h_3}{R}} = 14^0,$$

$$\alpha_4 = 57,3\sqrt{\frac{\Delta h_4}{R}} = 11^0.$$

Визначаємо довжину смуги по проходах в чорновій групі клітей:

$$l_0 = 4,5\text{м}, \qquad (2.11)$$

$$l_{\text{дуо}} = l_0 \times \mu_{\text{дуо}} = 4,5 \times 1,24 = 5,6 \text{ м},$$

$$l_1 = l_{\text{дуо}} \times \mu_1 = 5,6 \times 1,51 = 8,5 \text{ м},$$

$$l_2 = l_{в_1} \times \mu_2 = 8,5 \times 1,54 = 13,1\text{м},$$

$$l_3 = l_{в_2} \times \mu_3 = 13,1 \times 1,54 = 20,2\text{м},$$

$$l_4 = l_{в_3} \times \mu_4 = 20,2 \times 1,43 = 28,9 \text{ м}.$$

Визначаємо загальний коефіцієнт обтисків в чистовій групі клітей:

$$\eta_{\text{заг}} = \frac{h_n}{h_4} = 0,04 \ . \qquad (2.12)$$

Визначаємо середній коефіцієнт обтисків в чистовій групі клітей:

$$\eta_{\text{сер}} = 0,63. \qquad (2.13)$$

Розподіляємо обтиски по проходах в чистовій групі клітей:

$$\eta_{заг} = 0,6 \times 0,61 \times 0,62 \times 0,63 \times 0,64 \times 0,65 \times 0.67 = 0,04. \quad (2.14)$$

Визначаємо товщину смуги по проходах в чистовій групі клітей:

$$h_5 = h_4 \times \eta_1 = 24.61 \times 0,6 = 14.8 \text{ мм}, \quad (2.15)$$

$$h_6 = h_5 \times \eta_2 = 14,8 \times 0,61 = 9 \text{мм},$$

$$h_7 = h_6 \times \eta_3 = 9 \times 0,62 = 5,6 \text{мм},$$

$$h_8 = h_7 \times \eta_4 = 5,6 \times 0,63 = 3,6 \text{мм},$$

$$h_9 = h_8 \times \eta_5 = 3,6 \times 0,64 = 2,3 \text{ мм},$$

$$h_{10} = h_9 \times \eta_6 = 2,3 \times 0,65 = 1,6 \text{ мм},$$

$$h_{11} = h_9 \times \eta_6 = 1,6 \times 0,67 = 1 \text{ мм}.$$

Визначаємо обтиски по проходах в чистовій групі клітей:

$$\Delta h_5 = h_4 - h_5 = 24,61 - 14,8 = 9,8 \text{мм}, \quad (2.16)$$

$$\Delta h_6 = h_5 - h_6 = 14,8 - 9 = 5,8 \text{ мм},$$

$$\Delta h_7 = h_6 - h_7 = 9 - 5,6 = 3,4 \text{ мм},$$

$$\Delta h_8 = h_7 - h_8 = 5,6 - 3,6 = 2 \text{ мм},$$

$$\Delta h_9 = h_8 - h_9 = 3,6 - 2,3 = 1,3 \text{ мм},$$

$$\Delta h_{10} = h_9 - h_{10} = 2,3 - 1,6 = 0,8 \text{ мм},$$

$$\Delta h_{11} = h_{10} - h_{11} = 1,6 - 1 = 0,6 \text{ мм}.$$

Визначаємо відносні обтиски в чистовій групі клітей:

$$E_5 = \frac{\Delta h_5}{h_4} \times 100\% = 40\ \%, \qquad (2.17)$$

$$E_6 = \frac{\Delta h_6}{h_5} \times 100\% = 39\ \%,$$

$$E_7 = \frac{\Delta h_7}{h_6} \times 100\% = 38\ \%,$$

$$E_8 = \frac{\Delta h_8}{h_7} \times 100\% = 36\%,$$

$$E_9 = \frac{\Delta h_9}{h_8} \times 100\% = 36\ \%,$$

$$E_{10} = \frac{\Delta h_{10}}{h_9} \times 100\% = 35\%,$$

$$E_{11} = \frac{\Delta h10}{\Delta h11} \times 100\% = 37\%.$$

Визначаємо площі поперечних перерізів в чистовій групі клітей:

$$F_5 = h_5 \times b_5 = 18500\ \text{мм}^2, \qquad (2.18)$$

$$F_6 = h_6 \times b_6 = 11250\ \text{мм}^2,$$

$$F_7 = h_7 \times b_7 = 7000\ \text{мм}^2,$$

$$F_8 = h_8 \times b_8 = 4500\ \text{мм}^2,$$

$$F_9 = h_9 \times b_9 = 2875\ \text{мм}^2,$$

$$F_{10} = h_{10} \times b_{10} = 1938\ \text{мм}^2,$$

$$F_{11} = h_{11} \times b_{11} = 1250\ \text{мм}^2.$$

Визначаємо витягування в чистовій групі клітей:

$$\mu_5 = \frac{F_4}{F_5} = 1,66, \tag{2.19}$$

$$\mu_6 = \frac{F_5}{F_6} = 1,64,$$

$$\mu_7 = \frac{F_6}{F_7} = 1,61,$$

$$\mu_8 = \frac{F_7}{F_8} = 1,56,$$

$$\mu_9 = \frac{F_8}{F_9} = 1,56,$$

$$\mu_{10} = \frac{F_9}{F_{10}} = 1,48,$$

$$\mu_{11} = \frac{F10}{F11} = 1,5 \ .$$

Визначаємо кути захоплення в чистовій групі клітей:

$$\alpha_5 = 57,3\sqrt{\frac{\Delta h_5}{R_5}} = 10^0 \ , \tag{2.20}$$

$$\alpha_6 = 57,3\sqrt{\frac{\Delta h_6}{R_6}} = 8^0,$$

$$\alpha_7 = 57,3\sqrt{\frac{\Delta h_7}{R_7}} = 6^0,$$

$$\alpha_8 = 57,3\sqrt{\frac{\Delta h_8}{R_8}} = 5^0,$$

$$\alpha_9 = 57,3\sqrt{\frac{\Delta h_9}{R_9}} = 4^0,$$

$$\alpha_{10} = 57,3\sqrt{\frac{\Delta h_{10}}{R_{10}}} = 3^0,$$

$$\alpha_{11} = 57,3\sqrt{\frac{\Delta h11}{R11}} = 4^0.$$

Визначаємо довжину смуги в чистовій групі клітей:

$$l_5 = l_4 \times \mu_4 = 28,9 \times 1,43 = 41,3\text{м}, \quad (2.21)$$

$$l_6 = l_5 \times \mu_5 = 41,3 \times 1,66 = 68,6\text{м},$$

$$l_7 = l_6 \times \mu_6 = 68,6 \times 1,64 = 112,44\text{м},$$

$$l_8 = l_7 \times \mu_7 = 112,44 \times 1,61 = 181,02\text{м},$$

$$l_9 = l_8 \times \mu_8 = 181,02 \times 1,56 = 282,39\text{м},$$

$$l_{10} = l_9 \times \mu_9 = 282,39 \times 1,56 = 440,53\text{м},$$

$$l_{11} = l_{10} \times \mu_{10} = 440,53 \times 1,5 = 660,8\text{м}.$$

Визначаємо швидкості прокатки у клітях у чорновій групі клітей:

$$V_{дуо} = \frac{\pi \times D_{дуо} \times n_{дуо}}{60} = \frac{3,14 \times 900 \times 20}{60} = 0,94 \text{ м/с}, \quad (2.22)$$

$$V_1 = \frac{\pi \times D_1 \times n_1}{60} = \frac{3{,}14 \times 940 \times 22{,}2}{60} = 1{,}09 \text{ м/с},$$

$$V_2 = \frac{\pi \times D_2 \times n_2}{60} = \frac{3{,}14 \times 850 \times 25{,}5}{60} = 1{,}13 \text{ м/с},$$

$$V_3 = \frac{\pi \times D_3 \times n_3}{60} = \frac{3{,}14 \times 590 \times 50}{60} = 1{,}54 \text{ м/с},$$

$$V_4 = \frac{\pi \times D_4 \times n_4}{60} = \frac{3{,}14 \times 590 \times 65}{60} = 2 \text{ м/с},$$

Визначаємо швидкості прокатки у клітях чистової групи клітей:

$$c = h_{11} \times V_{11} = 0{,}001 \times 10 = 0{,}01 \text{ м}^2/\text{с}, \quad (2.23)$$

$$V_5 = \frac{c}{h_5} = 0{,}68 \text{ м/с},$$

$$V_6 = \frac{c}{h_6} = 1{,}11 \text{ м/с},$$

$$V_7 = \frac{c}{h_7} = 1{,}79 \text{ м/с},$$

$$V_8 = \frac{c}{h_8} = 2{,}77 \text{ м/с},$$

$$V_9 = \frac{c}{h_9} = 4{,}35 \text{м/с},$$

$$V_{10} = \frac{c}{h10} = 6{,}45 \text{ м/с},$$

$V_{11} = 10$ м/с.

Температура прокатки по клітям становить:

$t_{дуо.}$ = 1250 °С; t_6= 1060 °С;

t_1= 1230 °С; t_7= 1005 °С;

t_2= 1210 °С; t_8= 950 °С;

t_3= 1190 °С; t_9= 900 °С;

t_4= 1150 °С; t_{10} = 850 °С.

t_5= 1100 °С; t_{11}= 800 °С

Таблиця 2.2-Розрахунок режимів обтисків

Тип кліті	h, мм	Δh, мм	Δb, мм	μ	α^0	E%	l, м	V, м/с	F, $мм^2$
Дуо	128	32	10	1,24	14	20	5,6	0,94	131544
1	83,2	44,8	27	1,52	16	35	8,5	1,09	86627
2	54,1	29,1	21	1,54	14	35	13,1	1,13	56179
3	35,1	18,9	14	1,54	13	35	20,2	1,54	36408
4	24,6	10,5	8	1,43	10	30	28,9	2	25461
5	14,8	9,8	8	1,47	8	40	41,3	1,63	17343
6	9	5,8	8	1,45	7	39	68,6	2,37	11931
7	5,6	3,4	8	1,43	6	38	112,44	3,38	8964
8	3,6	2	8	1,42	5	36	181,02	4,78	5904
9	2,3	1,3	8	1,37	4	36	282,39	6,56	4305
10	1,6	0,8	8	1,30	3	3	440,53	8,5	3321
11	1	0,6	8	1,5	4	37	660,8	10	1250

2.2. Розрахунок енерго-силових параметрів

Визначаємо довжину осередка деформації:

$$ld_{дуо} = \sqrt{R_{дуо}\Delta h_{дуо}} = \sqrt{450 \times 32} = 120 \text{ мм;} \quad (2.24)$$

$$ld_1 = \sqrt{R_1\Delta h_1} = \sqrt{470 \times 44{,}8} = 145{,}1 \text{ мм;}$$

$$ld_2 = \sqrt{R_2 \Delta h_2} = \sqrt{425 \times 29{,}12} = 111{,}2 \text{ мм};$$

$$ld_3 = \sqrt{R_3 \Delta h_3} = \sqrt{310 \times 18{,}9} = 76{,}5 \text{ мм};$$

$$ld_4 = \sqrt{R_4 \Delta h_4} = \sqrt{310 \times 10{,}5} = 57{,}1 \text{ мм};$$

$$ld_5 = \sqrt{R_5 \Delta h_5} = \sqrt{310 \times 9{,}8} = 55{,}1 \text{ мм};$$

$$ld_6 = \sqrt{R_6 \Delta h_6} = \sqrt{310 \times 5{,}8} = 42{,}4 \text{ мм};$$

$$ld_7 = \sqrt{R_7 \Delta h_7} = \sqrt{310 \times 3{,}4} = 32{,}5 \text{ мм};$$

$$ld_8 = \sqrt{R_8 \Delta h_8} = \sqrt{310 \times 2} = 24{,}9 \text{ мм};$$

$$ld_9 = \sqrt{R_9 \Delta h_9} = \sqrt{310 \times 1{,}3} = 20{,}1 \text{ мм};$$

$$ld_{10} = \sqrt{R_{10} \Delta h_{10}} = \sqrt{310 \times 0{,}8} = 15{,}7 \text{ мм}.$$

$$ld_{11} = \sqrt{R_{11} \Delta h_{11}} = \sqrt{310 \times 0.6} = 13{,}6 \text{ мм}$$

Визначаємо середню швидкість деформації:

$$U_{ср_{дуо}} = \frac{V_{дуо}E_{дуо}}{l_{дуо}} = \frac{0,94 \times 1000 \times 0,25}{150} = 1,57 \quad (2.25)$$

$$U_{ср_1} = \frac{V_1E_1}{l_1} = \frac{1,09 \times 1000 \times 0,32}{150,2} = 2,32$$

$$U_{ср_2} = \frac{V_2E_2}{l_2} = \frac{1,13 \times 1000 \times 0,37}{126,6} = 3,3$$

$$U_{ср_3} = \frac{V_3E_3}{l_3} = \frac{1,62 \times 1000 \times 0,37}{85,9} = 6,9$$

$$U_{ср_4} = \frac{V_4E_4}{l_4} = \frac{2,11 \times 1000 \times 0,34}{65,4} = 10,9$$

$$U_{ср_5} = \frac{V_5E_5}{l_5} = \frac{0,68 \times 1000 \times 0,4}{55,1} = 4,9$$

$$U_{ср_6} = \frac{V_6E_6}{l_6} = \frac{1,11 \times 1000 \times 0,39}{42,4} = 10,2$$

$$U_{ср_7} = \frac{V_7E_7}{l_7} = \frac{1,79 \times 1000 \times 0,38}{32,5} = 20,9$$

$$U_{ср_8} = \frac{V_8E_8}{l_8} = \frac{2,77 \times 1000 \times 0,36}{24,9} = 40$$

$$U_{ср_9} = \frac{V_9E_9}{l_9} = \frac{4,35 \times 1000 \times 0,36}{20,1} = 77,9$$

$$U_{ср_{10}} = \frac{V_{10}E_{10}}{l_{10}} = \frac{6,45 \times 1000 \times 0,35}{15,7} = 143,8$$

$$U_{ср_{11}} = \frac{V_{11}E_{11}}{l_{11}} = \frac{10 \times 1000 \times 0,37}{13,6} = 272,1$$

Визначаємо середнє значення відносного обтиску:

$$E_{ср_{дуо}} = \frac{2 \times \Delta h_{дуо}}{3 \times h_{дуо}} = \frac{2 \times 32}{3 \times 128} = 0,17; \quad (2.26)$$

$$E_{ср_1} = \frac{2 \times \Delta h_1}{3 \times h_1} = \frac{2 \times 44,8}{3 \times 83,2} = 0,36;$$

$$E_{ср_2} = \frac{2 \times \Delta h_2}{3 \times h_2} = \frac{2 \times 29,1}{3 \times 54,08} = 0,36;$$

$$E_{ср_3} = \frac{2 \times \Delta h_3}{3 \times h_3} = \frac{2 \times 18,9}{3 \times 35,15} = 0,35;$$

$$E_{ср_4} = \frac{2 \times \Delta h_4}{3 \times h_4} = \frac{2 \times 10,5}{3 \times 24,6} = 0,28;$$

$$E_{ср_5} = \frac{2 \times \Delta h_5}{3 \times h_5} = \frac{2 \times 9,8}{3 \times 14,8} = 0,44;$$

$$E_{ср_6} = \frac{2 \times \Delta h_6}{3 \times h_6} = \frac{2 \times 5,8}{3 \times 9} = 0,43;$$

$$E_{ср_7} = \frac{2 \times \Delta h_7}{3 \times h_7} = \frac{2 \times 3,4}{3 \times 5,6} = 0,4;$$

$$E_{ср_8} = \frac{2 \times \Delta h_8}{3 \times h_8} = \frac{2 \times 2}{3 \times 3,6} = 0,37;$$

$$E_{cp_9} = \frac{2 \times \Delta h_9}{3 \times h_9} = \frac{2 \times 1{,}3}{3 \times 2{,}3} = 0{,}37;$$

$$E_{cp_{10}} = \frac{2 \times \Delta h_{10}}{3 \times h_{10}} = \frac{2 \times 0{,}8}{3 \times 1{,}6} = 0{,}33;$$

$$E_{cp_{11}} = \frac{2 \times \Delta h_{11}}{3 \times h_{11}} = \frac{2 \times 0{,}6}{3 \times 1} = 0{,}4.$$

Визначаємо середнє значення коефіцієнта зміцнення:

$$k_{E_{cp_{дуо}}} = 0{,}82 + 0{,}82 \sqrt{E_{cp_{дуо}}} = 0{,}82 + 0{,}82\sqrt{0{,}17} = 1{,}16; \qquad (2.27)$$

$$k_{E_{cp_1}} = 0{,}82 + 0{,}82 \sqrt{E_{cp_1}} = 0{,}82 + 0{,}82\sqrt{0{,}36} = 1{,}31;$$

$$k_{E_{cp_2}} = 0{,}82 + 0{,}82 \sqrt{E_{cp_2}} = 0{,}82 + 0{,}82\sqrt{0{,}36} = 1{,}31;$$

$$k_{E_{cp_3}} = 0{,}82 + 0{,}82 \sqrt{E_{cp_3}} = 0{,}82 + 0{,}82\sqrt{0{,}35} = 1{,}30;$$

$$k_{E_{cp_4}} = 0{,}82 + 0{,}82 \sqrt{E_{cp_4}} = 0{,}82 + 0{,}82\sqrt{0{,}28} = 1{,}25;$$

$$k_{E_{cp_5}} = 0{,}82 + 0{,}82 \sqrt{E_{cp_5}} = 0{,}82 + 0{,}82\sqrt{0{,}44} = 1{,}36;$$

$$k_{E_{cp_6}} = 0{,}82 + 0{,}82 \sqrt{E_{cp_6}} = 0{,}82 + 0{,}82\sqrt{0{,}43} = 1{,}36;$$

$$k_{E_{cp_7}} = 0,82+0,82\sqrt{E_{cp_7}} = 0,82+0,82\sqrt{0,4} = 1,34;$$

$$k_{E_{cp_8}} = 0,82+0,82\sqrt{E_{cp_8}} = 0,82+0,82\sqrt{0,37} = 1,32;$$

$$k_{E_{cp_9}} = 0,82+0,82\sqrt{E_{cp_9}} = 0,82+0,82\sqrt{0,37} = 1,32;$$

$$k_{E_{cp_{10}}} = 0,82+0,82\sqrt{E_{cp_{10}}} = 0,82+0,82\sqrt{0,33} = 1,29;$$

$$k_{E_{cp_{11}}} = 0,82+0,82\sqrt{E_{cp_{11}}} = 0,82+0,82\sqrt{0,4} = 1,34$$

Визначаємо середнє значення швидкісного коефіцієнта:

$$k_{Ucp_{дуо}} = 0,8+0,065\sqrt{U_{cp_{дуо}}} = 0,8+0,065\sqrt{1,57} = 0,88; \quad (2.28)$$

$$k_{Ucp_1} = 0,8+0,065\sqrt{U_{cp_1}} = 0,8+0,065\sqrt{2,32} = 0,89;$$

$$k_{Ucp_2} = 0,8+0,065\sqrt{U_{cp_2}} = 0,8+0,065\sqrt{3,3} = 0,92;$$

$$k_{Ucp_3} = 0,8+0,065\sqrt{U_{cp_3}} = 0,8+0,065\sqrt{6,9} = 0,97;$$

$$k_{Ucp_4} = 0,8+0,065\sqrt{U_{cp_4}} = 0,8+0,065\sqrt{10,9} = 1,01;$$

$$k_{Ucp_5} = 0,8+0,065\sqrt{U_{cp_5}} = 0,8+0,065\sqrt{4,9} = 0,94;$$

$$k_{Ucp_6} = 0,8+0,065\sqrt{U_{cp_6}} = 0,8+0,065\sqrt{10,2} = 1,01;$$

$$k_{Ucp_7} = 0,8+0,065\sqrt{U_{cp_7}} = 0,8+0,065\sqrt{20,9} = 1,09;$$

$$k_{Ucp_8} = 0,8+0,065\sqrt{U_{cp_8}} = 0,8+0,065\sqrt{40} = 1,21;$$

$$k_{Ucp_9} = 0,8+0,065\sqrt{U_{cp_9}} = 0,8+0,065\sqrt{77,9} = 1,37;$$

$$k_{Ucp_{10}} = 0,8+0,065\sqrt{U_{cp_{10}}} = 0,8+0,065\sqrt{143,8} = 1,58;$$

$$k_{Ucp_{11}} = 0,8+0,065\sqrt{U_{cp_{11}}} = 0,8+0,065\sqrt{272,1} = 1,87.$$

Визначаємо середнє значення температурного коефіцієнта:

$$k_{t_{cp_{дуо}}} = 0,6 + 0,0045(1200 - t_{cp_{дуо}}) = 0,6 + 0,0045(1200 – 1250) = 0,38; \qquad (2.29)$$

$$k_{t_{cp_1}} = 0,6 + 0,0045(1200 - t_{cp_1}) = 0,6 + 0,0045(1200 – 1230) = 0,47;$$

$$k_{t_{cp_2}} = 0,6 + 0,0045(1200 - t_{cp_2}) = 0,6 + 0,0045(1200 – 1210) = 0,56;$$

$$k_{t_{cp_3}} = 0,6 + 0,0045(1200 - t_{cp_3})\sqrt{\frac{1200-t_{cp_3}}{t_{cp_3}}} =$$

$$=0,6 + 0,0045(1200 - 1190)\sqrt{\frac{1200-1190}{1190}} = 0,60;$$

$$k_{t_{cp_4}} = 0,6 + 0,0045(1200 - t_{cp_4})\sqrt{\frac{1200-t_{cp_4}}{t_{cp_4}}} =$$

$$= 0,6 + 0,0045(1200 - 1150)\sqrt{\frac{1200-1150}{1150}} = 0,65;$$

$$k_{t_{cp_5}} = 0,6 + 0,0045(1200 - t_{cp_5})\sqrt{\frac{1200-t_{cp_5}}{t_{cp_5}}} =$$

$$= 0,6 + 0,0045(1200 - 1100)\sqrt{\frac{1200-1100}{1100}} = 0,74;$$

$$k_{t_{cp_6}} = 0,6 + 0,0045(1200 - t_{cp_6})\sqrt{\frac{1200-t_{cp_6}}{t_{cp_6}}} =$$

$$= 0,6 + 0,0045(1200 - 1060)\sqrt{\frac{1200-1060}{1060}} = 0,83;$$

$$k_{t_{cp_7}} = 0,6 + 0,0045(1200 - t_{cp_7})\sqrt{\frac{1200-t_{cp_7}}{t_{cp_7}}} =$$

$$= 0,6 + 0,0045(1200 - 1005)\sqrt{\frac{1200-1005}{1005}} = 0,99;$$

$$k_{t_{cp_8}} = 0,6 + 0,0045(1200 - t_{cp_8})\sqrt{\frac{1200-t_{cp_8}}{t_{cp_8}}} =$$

$$= 0,6 + 0,0045(1200 - 950)\sqrt{\frac{1200-950}{950}} = 1,17;$$

$$k_{t_{cp_9}} = 0,6 + 0,0045(1200 - t_{cp_9})\sqrt{\frac{1200-t_{cp_9}}{t_{cp_9}}} =$$

$$= 0,6 + 0,0045(1200 - 900)\sqrt{\frac{1200-900}{900}} = 1,38;$$

$$k_{t_{cp10}} = 0,6 + 0,0045(1200 - t_{cp_{10}}) \sqrt{\frac{1200-t_{cp_{10}}}{t_{cp_{10}}}} =$$

$$= 0,6 + 0,0045(1200 - 850) \sqrt{\frac{1200-850}{850}} = 1,6;$$

$$k_{t_{cp11}} = 0,6 + 0,0045(1200 - t_{cp_{11}}) \sqrt{\frac{1200-t_{cp_{11}}}{t_{cp_{11}}}} =$$

$$= 0,6+0,0045(1200-800) \sqrt{\frac{1200-800}{800}} = 1,5$$

Визначаємо коефіцієнт тертя при сталому процесі прокатки :

$k_в$ - коефіцієнт який враховує матеріал валків;

k_v - коефіцієнт враховує вплив окружної швидкості;

k_c - коефіцієнт враховує вплив хімічного составу прокатуваємої марки сталі;

t – температура штаби по клітям.

$$f_{y_{дуо}} = k_в k_c k_v(0,55 - 0,00024\, t_{cp_{дуо}}) = 0,9 \times 1,3 \times 0,5\ (0,55 - 0,00024 \times 1250) = 0,146; \quad (2.30)$$

$$f_{y_1} = k_в k_c k_v(0,55 - 0,00024\, t_{cp_1}) = 0,9 \times 1,3 \times 0,5\ (0,55 - 0,00024 \times 1230) = 0,152;$$

$$f_{y_2} = k_в k_c k_v(0,55 - 0,00024\, t_{cp_2}) = 0,9 \times 1,3 \times 0,5\ (0,55 - 0,00024 \times 1210) = 0,152;$$

$$f_{y_3} = k_в k_c k_v(0,55 - 0,00024\, t_{cp_3}) = 1,1 \times 1,3 \times 0,5\ (0,55 - 0,00024 \times 1190) = 0,186;$$

$$f_{y_4} = k_в k_c k_v(0,55 - 0,00024\, t_{cp_4}) = 1,1 \times 1,3 \times 0,5\ (0,55 - 0,00024 \times 1150) = 0,193;$$

$$f_{y_5} = k_в k_c k_v(0,55 - 0,00024\, t_{cp_5}) = 1,1 \times 1,3 \times 0,5\ (0,55 - 0,00024 \times 1100) = 0,207;$$

$$f_{y_6} = k_в k_c k_v(0{,}55 - 0{,}00024\, t_{ср_6}) = 1{,}1 \times 1{,}3 \times 0{,}5\ (0{,}55 - 0{,}00024 \times 1060) = 0{,}215;$$

$$f_{y_7} = k_в k_c k_v(0{,}55 - 0{,}00024\, t_{ср_7}) = 1{,}1 \times 1{,}3 \times 0{,}5\ (0{,}55 - 0{,}00024 \times 1005) = 0{,}222;$$

$$f_{y_8} = k_в k_c k_v(0{,}55 - 0{,}00024\, t_{ср_8}) = 1{,}1 \times 1{,}3 \times 0{,}5\ (0{,}55 - 0{,}00024 \times 950) = 0{,}229;$$

$$f_{y_9} = k_в k_c k_v(0{,}55 - 0{,}00024\, t_{ср_9}) = 1{,}1 \times 1{,}3 \times 0{,}5\ (0{,}55 - 0{,}00024 \times 900) = 0{,}236;$$

$$f_{y_{10}} = k_в k_c k_v(0{,}55 - 0{,}00024\, t_{ср_{10}}) = 1{,}1 \times 1{,}3 \times 0{,}5\ (0{,}55 - 0{,}00024 \times 850) = 0{,}250;$$

$$f_{y_{11}} = k_в k_c k_v(0{,}55 - 0{,}00024\, t_{ср_{11}}) = 1{,}1 \times 1{,}3 \times 0{,}5\ (0{,}55 - 0{,}00024 \times 800) = 0{,}255.$$

Визначаємо середнє значення напруження текучості:

$$\sigma_{Тср_{дуо}} = \sigma_0 \times k_{E_{ср_{дуо}}} \times k_{Иср_{дуо}} \times k_{t_{ср_{дуо}}} = 84 \times 1{,}16 \times 0{,}88 \times 0{,}38 = 32{,}9 \frac{Н}{мм^2};\quad (2.31)$$

$$\sigma_{Тср_1} = \sigma_0 \times k_{E_{ср_1}} \times k_{Иср_1} \times k_{t_{ср_1}} = 84 \times 1{,}31 \times 0{,}89 \times 0{,}47 = 46{,}6 \frac{Н}{мм^2};$$

$$\sigma_{Тср_2} = \sigma_0 \times k_{E_{ср_2}} \times k_{Иср_2} \times k_{t_{ср_2}} = 84 \times 1{,}31 \times 0{,}92 \times 0{,}56 = 57{,}4 \frac{Н}{мм^2};$$

$$\sigma_{Тср_3} = \sigma_0 \times k_{E_{ср_3}} \times k_{Иср_3} \times k_{t_{ср_3}} = 84 \times 1{,}3 \times 0{,}97 \times 0{,}60 = 65{,}8 \frac{Н}{мм^2};$$

$$\sigma_{Тср_4} = \sigma_0 \times k_{E_{ср_4}} \times k_{Иср_4} \times k_{t_{ср_4}} = 84 \times 1{,}25 \times 1{,}01 \times 0{,}65 = 66{,}9 \frac{Н}{мм^2};$$

$$\sigma_{Тср_5} = \sigma_0 \times k_{E_{ср_5}} \times k_{Иср_5} \times k_{t_{ср_5}} = 84 \times 1{,}36 \times 0{,}94 \times 0{,}74 = 80{,}4 \frac{Н}{мм^2};$$

$$\sigma_{Тср_6} = \sigma_0 \times k_{E_{ср_6}} \times k_{Иср_6} \times k_{t_{ср_6}} = 84 \times 1{,}36 \times 1{,}01 \times 0{,}83 = 96{,}9 \frac{Н}{мм^2};$$

$$\sigma_{Тср_7} = \sigma_0 \times k_{E_{ср_7}} \times k_{Иср_7} \times k_{t_{ср_7}} = 84 \times 1{,}34 \times 1{,}09 \times 0{,}99 = 122{,}9 \frac{Н}{мм^2};$$

$$\sigma_{\text{Тср}_8} = \sigma_0 \times k_{E_{ср_8}} \times k_{\text{Иср}_8} \times k_{t_{ср_8}} = 84 \times 1{,}32 \times 1{,}21 \times 1{,}17 = 158{,}8 \frac{\text{Н}}{\text{мм}^2};$$

$$\sigma_{\text{Тср}_9} = \sigma_0 \times k_{E_{ср_9}} \times k_{\text{Иср}_9} \times k_{t_{ср_9}} = 84 \times 1{,}32 \times 1{,}37 \times 1{,}38 = 212{,}1 \frac{\text{Н}}{\text{мм}^2};$$

$$\sigma_{\text{Тср}_{10}} = \sigma_0 \times k_{E_{ср_{10}}} \times k_{\text{Иср}_{10}} \times k_{t_{ср_{10}}} = 84 \times 1{,}29 \times 1{,}58 \times 1{,}6 = 277{,}1 \frac{\text{Н}}{\text{мм}^2};$$

$$\sigma_{\text{Тср}_{11}} = \sigma_0 \times k_{Eср_{11}} \times k_{\text{Иср}_{11}} \times k_{tср_{11}} = 84 \times 1{,}34 \times 1{,}87 \times 1{,}5 = 315{,}7 \frac{\text{Н}}{\text{мм}^2}$$

Визначаємо середню товщину штаби в осередку деформації:

$$h_{ср_{\text{дуо}}} = \frac{h_0 + 2h_{\text{дуо}}}{3} = \frac{160 + 2 \times 128}{3} = 138{,}7 \text{ мм}; \qquad (2.32)$$

$$h_{ср_1} = \frac{h_{\text{дуо}} + 2h_1}{3} = \frac{128 + 2 \times 83{,}2}{3} = 98{,}1 \text{ мм};$$

$$h_{ср_2} = \frac{h_1 + 2h_2}{3} = \frac{83{,}2 + 2 \times 54{,}1}{3} = 63{,}8 \text{ мм};$$

$$h_{ср_3} = \frac{h_2 + 2h_3}{3} = \frac{54{,}1 + 2 \times 35{,}15}{3} = 41{,}5 \text{ мм};$$

$$h_{ср_4} = \frac{h_3 + 2h_4}{3} = \frac{35{,}15 + 2 \times 24{,}61}{3} = 28{,}1 \text{ мм};$$

$$h_{ср_5} = \frac{h_4 + 2h_5}{3} = \frac{24{,}61 + 2 \times 14{,}8}{3} = 18{,}1 \text{ мм};$$

$$h_{ср_6} = \frac{h_5 + 2h_6}{3} = \frac{14{,}8 + 2 \times 9}{3} = 10{,}9 \text{ мм};$$

$$h_{ср_7} = \frac{h_6 + 2h_7}{3} = \frac{9 + 2 \times 5{,}6}{3} = 6{,}7 \text{ мм};$$

$$h_{ср_8} = \frac{h_7 + 2h_8}{3} = \frac{5{,}6 + 2 \times 3{,}6}{3} = 4{,}3 \text{ мм};$$

$$h_{cp_9} = \frac{h_8+2h_9}{3} = \frac{3,6+2\times2,3}{3} = 2,7 \text{ мм};$$

$$h_{cp_{10}} = \frac{h_9+2h_{10}}{3} = \frac{2,3+2\times1,55}{3} = 1,8 \text{ мм};$$

$$h_{cp_{11}} = \frac{h_{10}+2h_{11}}{3} = \frac{1,55+2\times1}{3} = 1,18 \text{ мм}.$$

Визначаємо показник сил тертя:

$$f_{\sigma_{дуо}} = f_{y_{дуо}}\left(1+0,35 f_{y_{дуо}} \frac{l_{дуо}}{h_{cp_{дуо}}}\right) = 0,146\left(1+0,35\times0,146\frac{120}{138,7}\right)=0,152; \quad (2.33)$$

$$f_{\sigma_1} = f_{y_1}\left(1+0,35 f_{y_1} \frac{l_1}{h_{cp_1}}\right) = 0,152\left(1+0,35\times0,152\frac{145,1}{98,1}\right)=0,164;$$

$$f_{\sigma_2} = f_{y_2}\left(1+0,35 f_{y_2} \frac{l_2}{h_{cp_2}}\right) = 0,152\left(1+0,35\times0,152\frac{111,2}{63,8}\right)=0,166;$$

$$f_{\sigma_3} = f_{y_3}\left(1+0,35 f_{y_3} \frac{l_3}{h_{cp_3}}\right) = 0,186\left(1+0,35\times0,186\frac{76,5}{41,5}\right)=0,208;$$

$$f_{\sigma_4} = f_{y_4}\left(1+0,35 f_{y_4} \frac{l_4}{h_{cp_1}}\right) = 0,193\left(1+0,35\times0,193\frac{57,1}{28,1}\right)=0,219;$$

$$f_{\sigma_5} = f_{y_5}\left(1+0,35 f_{y_5} \frac{l_5}{h_{cp_5}}\right) = 0,207\left(1+0,35\times0,207\frac{55,1}{18,1}\right)=0,253;$$

$$f_{\sigma_6} = f_{y_6}\left(1+0,35 f_{y_6} \frac{l_6}{h_{cp_6}}\right) = 0,215\left(1+0,35\times0,215\frac{42,4}{10,9}\right)=0,278;$$

$$f_{\sigma_7} = f_{y_7}\left(1+0,35 f_{y_7} \frac{l_7}{h_{cp_7}}\right) = 0,222\left(1+0,35\times0,222\frac{32,5}{6,7}\right)=0,306;$$

$$f_{\sigma_8} = f_{y_8}\left(1+0,35 f_{y_8} \frac{l_8}{h_{cp_8}}\right) = 0,229\left(1+0,35\times0,229\frac{24,9}{4,3}\right)=0,335;$$

$$f_{\sigma_9} = f_{y_9}\left(1+0,35 f_{y_9} \frac{l_9}{h_{cp_9}}\right) = 0,236\left(1+0,35\times0,236\frac{20,1}{2,7}\right)=0,381;$$

$$f_{\sigma_{10}} = f_{y_{10}}\left(1+0{,}35 f_{y_{10}} \frac{l_{10}}{h_{cp_{10}}}\right) = 0{,}250\left(1+0{,}35 \times 0{,}250 \frac{15{,}7}{1{,}8}\right)=0{,}441;$$

$$f_{\sigma_{11}} = f_{y_{11}}\left(1+0{,}35 f_{y_{11}} \frac{l_{11}}{h_{cp_{11}}}\right) = 0{,}255\left(1+0{,}35 \times 0{,}255 \frac{13{,}6}{1{,}18}\right)=0{,}517.$$

Визначаємо кут контакту штаби з валком:

$$\alpha_{\text{дуо}} = \sqrt{\frac{32}{450}} = 0{,}27; \qquad (2.34)$$

$$\alpha_1 = \sqrt{\frac{44{,}8}{475}} = 0{,}31;$$

$$\alpha_2 = \sqrt{\frac{29{,}1}{425}} = 0{,}26;$$

$$\alpha_3 = \sqrt{\frac{18{,}9}{310}} = 0{,}25;$$

$$\alpha_4 = \sqrt{\frac{10{,}5}{310}} = 0{,}18;$$

$$\alpha_5 = \sqrt{\frac{9{,}8}{310}} = 0{,}18;$$

$$\alpha_6 = \sqrt{\frac{5{,}8}{310}} = 0{,}14;$$

$$\alpha_7 = \sqrt{\frac{3{,}4}{310}} = 0{,}1;$$

$$\alpha_8 = \sqrt{\frac{2}{310}} = 0{,}08;$$

$$\alpha_9 = \sqrt{\frac{1{,}3}{310}} = 0{,}06;$$

$$\alpha_{10}=\sqrt{\frac{0,8}{310}}=0,05;$$

$$\alpha_{11}=\sqrt{\frac{0,6}{310}}=0,04.$$

Визначаємо коефіцієнт напруженого стану:

$$n_{\sigma_{дуо}}=1+\frac{R_{дуо}\times\alpha_{дуо}}{2\times h_{ср_{дуо}}}\left[f_{\sigma_{дуо}}-\alpha_{дуо}\left(\frac{1}{3}+\frac{\alpha_{дуо}}{4f_{\sigma_{дуо}}}\right)\right]=$$

$$=1+\frac{450\times0,27}{2\times138,7}\left[0,152-0,27\left(\frac{1}{3}+\frac{0,27}{4\times0,152}\right)\right]=0,975; \quad (2.35)$$

$$n_{\sigma_1}=1+\frac{R_1\alpha_1}{2h_{cp_1}}\left[f_{\sigma_1}-\alpha_1\left(\frac{1}{3}+\frac{\alpha_1}{4f_{\sigma_1}}\right)\right]=$$

$$=1+\frac{470\times0,31}{2\times98,1}\left[0,164-0,31\left(\frac{1}{3}+\frac{0,31}{4\times0,164}\right)\right]=0,936;$$

$$n_{\sigma_2}=1+\frac{R_2\alpha_2}{2h_{cp_2}}\left[f_{\sigma_2}-\alpha_2\left(\frac{1}{3}+\frac{\alpha_2}{4f_{\sigma_2}}\right)\right]=$$

$$=1+\frac{425\times0,26}{2\times63,8}\left[0,166-0,26\left(\frac{1}{3}+\frac{0,26}{4\times0,166}\right)\right]=0,941;$$

$$n_{\sigma_3}=1+\frac{R_3\alpha_3}{2h_{cp_3}}\left[f_{\sigma_3}-\alpha_3\left(\frac{1}{3}+\frac{\alpha_3}{4f_{\sigma_3}}\right)\right]=$$

$$=1+\frac{310\times0,25}{2\times41,5}\left[0,208-0,25\left(\frac{1}{3}+\frac{0,25}{4\times0,208}\right)\right]=0,954;$$

$$n_{\sigma_4}=1+\frac{R_4\alpha_4}{2h_{cp_4}}\left[f_{\sigma_3}-\alpha_4\left(\frac{1}{3}+\frac{\alpha_4}{4f_{\sigma_4}}\right)\right]=$$

$$=1+\frac{310\times0,18}{2\times28,1}\left[0,219-0,18\left(\frac{1}{3}+\frac{0,18}{4\times0,219}\right)\right]=1,08;$$

$$n_{\sigma_5}=1+\frac{R_5\alpha_5}{2h_{cp_5}}\left[f_{\sigma_5}-\alpha_5\left(\frac{1}{3}+\frac{\alpha_5}{4f_{\sigma_5}}\right)\right]=$$

$$=1+\frac{310\times0,18}{2\times18,1}[0,253-0,18(\frac{1}{3}+\frac{0,18}{4\times0,253})]=1,248;$$

$$n_{\sigma_6}=1+\frac{R_6\alpha_6}{2h_{cp_6}}[f_{\sigma_6}-\alpha_6(\frac{1}{3}+\frac{\alpha_6}{4f_{\sigma_6}})]=$$

$$=1+\frac{310\times0,14}{2\times10,9}[0,278-0,14(\frac{1}{3}+\frac{0,14}{4\times0,278})]=1,425;$$

$$n_{\sigma_7}=1+\frac{R_7\alpha_7}{2h_{cp_7}}[f_{\sigma_7}-\alpha_7(\frac{1}{3}+\frac{\alpha_7}{4f_{\sigma_7}})]=$$

$$=1+\frac{310\times0,1}{2\times6,7}[0,306-0,1(\frac{1}{3}+\frac{0,1}{4\times0,306})]=1,612;$$

$$n_{\sigma_8}=1+\frac{R_8\alpha_8}{2h_{cp_8}}[f_{\sigma_8}-\alpha_8(\frac{1}{3}+\frac{\alpha_8}{4f_{\sigma_8}})]=$$

$$=1+\frac{310\times0,08}{2\times4,3}[0,335-0,08(\frac{1}{3}+\frac{0,08}{4\times0,335})]=1,875;$$

$$n_{\sigma_9}=1+\frac{R_9\alpha_9}{2h_{cp_9}}[f_{\sigma_9}-\alpha_9(\frac{1}{3}+\frac{\alpha_9}{4f_{\sigma_9}})]=$$

$$=1+\frac{310\times0,06}{2\times2,7}[0,381-0,06(\frac{1}{3}+\frac{0,06}{4\times0,381})]=2,235;$$

$$n_{\sigma_{10}}=1+\frac{R_{10}\alpha_{10}}{2h_{cp_{10}}}[f_{\sigma_{10}}-\alpha_{10}(\frac{1}{3}+\frac{\alpha_{10}}{4f_{\sigma_{10}}})]=$$

$$=1+\frac{310\times0,05}{2\times1,8}[0,441-0,05(\frac{1}{3}+\frac{0,05}{4\times0,441})]=2,281;$$

$$n\sigma_{11}=1+\frac{R_{11}\alpha_{11}}{2h_{cp_{11}}}[f_{\sigma_{11}}-\alpha_{11}(\frac{1}{3}+\frac{\alpha_{11}}{4f_{\sigma_{11}}})]=$$

$$=1+\frac{310\times0,04}{2\times1,18}[0,517-0,04(\frac{1}{3}+\frac{0,04}{4\times0,517})]=2,342.$$

Визначаємо середнє контактне нормальне напруження:

$$P_{ср_{дуо}} = \beta\sigma_{Тср_{дуо}} n_{\sigma_{дуо}} = 1,15 \times 32,9 \times 0,975 = 38,8 \frac{Н}{мм^2}; \quad (2.36)$$

$$P_{ср_1} = \beta\sigma_{Тср_1} n_{\sigma_1} = 1,15 \times 46,6 \times 0,936 = 50,1 \frac{Н}{мм^2};$$

$$P_{ср_2} = \beta\sigma_{Тср_2} n_{\sigma_2} = 1,15 \times 57,4 \times 0,941 = 62,1 \frac{Н}{мм^2};$$

$$P_{ср_3} = \beta\sigma_{Тср_3} n_{\sigma_3} = 1,15 \times 65,8 \times 0,954 = 72,2 \frac{Н}{мм^2};$$

$$P_{ср_4} = \beta\sigma_{Тср_4} n_{\sigma_4} = 1,15 \times 66,9 \times 1,08 = 83,1 \frac{Н}{мм^2};$$

$$P_{ср_5} = \beta\sigma_{Тср_5} n_{\sigma_5} = 1,15 \times 80,9 \times 1,248 = 116,1 \frac{Н}{мм^2};$$

$$P_{ср_6} = \beta\sigma_{Тср_6} n_{\sigma_6} = 1,15 \times 96,9 \times 1,425 = 158,8 \frac{Н}{мм^2};$$

$$P_{ср_7} = \beta\sigma_{Тср_7} n_{\sigma_7} = 1,15 \times 122,9 \times 1,612 = 227,8 \frac{Н}{мм^2};$$

$$P_{ср_8} = \beta\sigma_{Тср_8} n_{\sigma_8} = 1,15 \times 158,9 \times 1,875 = 342,6 \frac{Н}{мм^2};$$

$$P_{ср_9} = \beta\sigma_{Тср_9} n_{\sigma_9} = 1,15 \times 212,1 \times 2,235 = 545,2 \frac{Н}{мм^2};$$

$$P_{ср_{10}} = \beta\sigma_{Тср_{10}} n_{\sigma_{10}} = 1,15 \times 277,1 \times 2,281 = 726,9 \frac{Н}{мм^2};$$

$$P_{ср_{11}} = \beta\sigma_{Т_{ср_{11}}} n_{\sigma_{11}} = 1,15 \times 315,7 \times 2,342 = 850,4 \frac{Н}{мм^2}.$$

Визначаємо площу контакту штаби з валком:

$$F_{к_{дуо}} = b_{дуо} l_{дуо} = 1240 \times 120 = 148800 \text{ мм}^2; \quad (2.37)$$

$$F_{к_1} = b_1 l_1 = 1267 \times 145,1 = 183841,7 \text{ мм}^2;$$

$$F_{к_2} = b_2 l_2 = 1263 \times 111,2 = 140445,6 \text{ мм}^2;$$

$F_{к_3} = b_3 l_3 = 1257 \times 76,5 = 96160,5$ мм^2;

$F_{к_4} = b_4 l_4 = 1250 \times 57,1 = 71375$ мм^2;

$F_{к_5} = b_5 l_5 = 1250 \times 55,1 = 68875$ мм^2;

$F_{к_6} = b_6 l_6 = 1250 \times 42,4 = 53000$ мм^2;

$F_{к_7} = b_7 l_7 = 1250 \times 32,5 = 40625$ мм^2;

$F_{к_8} = b_8 l_8 = 1250 \times 24,9 = 31125$ мм^2;

$F_{к_9} = b_9 l_9 = 1250 \times 20,1 = 25125$ мм^2;

$F_{к_{10}} = b_{10} l_{10} = 1250 \times 15,7 = 19625$ мм^2.

$F_{k_{11}=b_{11}l_{11}=1250\times13,6=17000мм^2}$

Визначаємо силу прокатки:

$P_{дуо} = P_{ср_{дуо}} \times F_{к_{дуо}} \times 10^{-6} = 38,8 \times 148800 \times 10^{-6} = 5,77$ МН; (2.38)

$P_1 = P_{ср_1} \times F_{к_1} \times 10^{-6} = 50,1 \times 183841,7 \times 10^{-6} = 6,9$ МН;

$P_2 = P_{ср_2} \times F_{к_2} \times 10^{-6} = 62,1 \times 140445,6 \times 10^{-6} = 8,7$ МН;

$P_3 = P_{ср_3} \times F_{к_3} \times 10^{-6} = 72,2 \times 96160,5 \times 10^{-6} = 6,9$ МН;

$P_4 = P_{ср_4} \times F_{к_4} \times 10^{-6} = 83,1 \times 71375 \times 10^{-6} = 5,9$ МН;

$P_5 = P_{ср_5} \times F_{к_5} \times 10^{-6} = 116,1 \times 68875 \times 10^{-6} = 7,9$ МН;

$P_6 = P_{ср_6} \times F_{к_6} \times 10^{-6} = 158,8 \times 53000 \times 10^{-6} = 8,4$ МН;

$P_7 = P_{ср_7} \times F_{к_7} \times 10^{-6} = 227,8 \times 40625 \times 10^{-6} = 9,25$ МН;

$P_8 = P_{ср_8} \times F_{к_8} \times 10^{-6} = 342,6 \times 31125 \times 10^{-6} = 10,66$МН;

$P_9 = P_{ср_9} \times F_{к_9} \times 10^{-6} = 545,6 \times 25115 \times 10^{-6} = 13,7$ МН;

$$P_{10} = P_{ср_{10}} \times F_{к_{10}} \times 10^{-6} = 726,9 \times 19625 \times 10^{-6} = 14,27 \text{ МН};$$

$$P_{11} = P_{ср_{11}} \times F_{k_{11}} \times 10^{-6} = 850,4 \times 17000 \times 10^{-6} = 14,46 \text{ МН}.$$

Визначаємо момент і потужність по силі прокатки

Визначаємо коефіцієнт δ:

$$\delta_{дуо} = \frac{2 f_{y_{дуо}} l_{дуо}}{\Delta h_{дуо}} = \frac{2 \times 0,146 \times 120}{32} = 1,1; \quad (2.39)$$

$$\delta_1 = \frac{2 f_{y_1} l_1}{\Delta h_1} = \frac{2 \times 0,152 \times 145,1}{44,8} = 0,98;$$

$$\delta_2 = \frac{2 f_{y_2} l_2}{\Delta h_2} = \frac{2 \times 0,152 \times 111,2}{29,12} = 1,16;$$

$$\delta_3 = \frac{2 f_{y_3} l_3}{\Delta h_3} = \frac{2 \times 0,186 \times 76,5}{18,9} = 1,51;$$

$$\delta_4 = \frac{2 f_{y_4} l_4}{\Delta h_4} = \frac{2 \times 0,193 \times 57,1}{10,5} = 2,1;$$

$$\delta_5 = \frac{2 f_{y_5} l_5}{\Delta h_5} = \frac{2 \times 0,207 \times 55,1}{9,8} = 2,33;$$

$$\delta_6 = \frac{2 f_{y_6} l_6}{\Delta h_6} = \frac{2 \times 0,215 \times 42,4}{5,8} = 3,14;$$

$$\delta_7 = \frac{2 f_{y_7} l_7}{\Delta h_7} = \frac{2 \times 0,222 \times 32,5}{3,4} = 4,24;$$

$$\delta_8 = \frac{2 f_{y_8} l_8}{\Delta h_8} = \frac{2 \times 0,229 \times 24,9}{2} = 5,7;$$

$$\delta_9 = \frac{2 f_{y_9} l_9}{\Delta h_9} = \frac{2 \times 0,236 \times 20,1}{1,3} = 7,3;$$

$$\delta_{10}= \frac{2f_{y_{10}}l_{10}}{\Delta h_{10}} = \frac{2\times0,250\times15,7}{0,8}= 9,81;$$

$$\delta_{11}= \frac{2\times0,255\times13,6}{0,6} = 11,56.$$

Визначаємо коефіцієнт плеча сили прокатки:

$$\Psi_{дуо}= 0,498 - 0,0283\,\frac{ld_{дуо}}{h_{cp_{дуо}}} = 0,498 - 0,0283\,\frac{120}{138,7} = 0,474; \quad (2.40)$$

$$\Psi_1= 0,498 - 0,0283\,\frac{ld_1}{h_{cp_1}} = 0,498 - 0,0283\,\frac{145,1}{98,1} = 0,456;$$

$$\Psi_2= 0,498 - 0,0283\,\frac{ld_2}{h_{cp_2}} = 0,498 - 0,0283\,\frac{111,2}{63,8} = 0,449;$$

$$\Psi_3= 0,498 - 0,0283\,\frac{ld_3}{h_{cp_3}} = 0,498 - 0,0283\,\frac{76,5}{41,5} = 0,446;$$

$$\Psi_4= 0,498 - 0,0283\,\frac{ld_4}{h_{cp_4}} = 0,498 - 0,0283\,\frac{57,1}{28,1} = 0,440;$$

$$\Psi_5= 0,498 - 0,0283\,\frac{ld_5}{h_{cp_5}} = 0,498 - 0,0283\,\frac{55,1}{18,1} = 0,412;$$

$$\Psi_6= 0,498 - 0,0283\,\frac{ld_6}{h_{cp_6}} = 0,498 - 0,0283\,\frac{42,4}{10,9} = 0,388;$$

$$\Psi_7= 0,498 - 0,0283\,\frac{ld_7}{h_{cp_7}} = 0,498 - 0,0283\,\frac{32,5}{6,7} = 0,361;$$

$$\Psi_8= 0,498 - 0,0283\,\frac{ld_8}{h_{cp_8}} = 0,498 - 0,0283\,\frac{24,9}{4,3} = 0,334;$$

$$\Psi_9= 0,498 - 0,0283\,\frac{ld_9}{h_{cp_9}} = 0,498 - 0,0283\,\frac{20,1}{2,7} = 0,287;$$

$$\Psi_{10} = 0,498 - 0,0283 \frac{ld_{10}}{h_{cp_{10}}} = 0,498 - 0,0283 \frac{15,7}{1,8} = 0,251;$$

$$\Psi_{11} = 0,498 - 0,0283 \frac{13,6}{1,18} = 0,172.$$

Визначаємо момент прокатки:

$$2M_{пр_{дуо}} = \frac{2P \times \Psi_{дуо} \times ld_{дуо}}{i} = \frac{2 \times 5770 \times 0,474 \times 0,12}{1} = 656,4 кНм; \quad (2.41)$$

$$2M_{пр_1} = \frac{2P \times \Psi_1 \times ld_1}{i} = \frac{2 \times 6900 \times 0,456 \times 0,145}{1} = 912,5 кНм;$$

$$2M_{пр_2} = \frac{2P \times \Psi_2 \times ld_2}{i} = \frac{2 \times 8700 \times 0,449 \times 0,111}{1} = 867,2 кНм;$$

$$2M_{пр_3} = \frac{2P \times \Psi_3 \times ld_3}{i} = \frac{2 \times 6900 \times 0,446 \times 0,076}{1} = 467,8 кНм;$$

$$2M_{пр_4} = \frac{2P \times \Psi_4 \times ld_4}{i} = \frac{2 \times 5900 \times 0,44 \times 0,057}{1} = 295,9 кНм;$$

$$2M_{пр_5} = \frac{2P \times \Psi_5 \times ld_5}{i} = \frac{2 \times 7900 \times 0,412 \times 0,055}{1} = 358 кНм;$$

$$2M_{пр_6} = \frac{2P \times \Psi_6 \times ld_6}{i} = \frac{2 \times 8400 \times 0,388 \times 0,042}{1} = 273,8 кНм;$$

$$2M_{пр_7} = \frac{2P \times \Psi_7 \times ld_7}{i} = \frac{2 \times 9250 \times 0,361 \times 0,033}{1} = 220,4 кНм;$$

$$2M_{пр_8} = \frac{2P \times \Psi_8 \times ld_8}{i} = \frac{2 \times 10660 \times 0,334 \times 0,025}{1} = 178 кНм;$$

$$2M_{пр_9} = \frac{2P \times \Psi_9 \times ld_9}{i} = \frac{2 \times 13700 \times 0,278 \times 0,02}{1} = 152,3 кНм;$$

$$2M_{пр_{10}} = \frac{2P \times \Psi_{10} \times ld_{10}}{i} = \frac{2 \times 14270 \times 0{,}251 \times 0{,}016}{1} = 114{,}6 \text{ кНм};$$

$$2M_{пр_{11}} = \frac{2 \times 22750 \times 0{,}172 \times 0{,}014}{1} = 69{,}6 \text{ кНм}.$$

Визначаємо повний момент сил тертя:

$$M'_{тр_{дуо}} = \frac{2P \times f_n \times \rho_{оп}}{i\eta} \times \frac{D_р}{D_{оп}} + \left(\frac{1}{\eta} - 1\right) \times \frac{2M_{пр_{дуо}}}{i} = 73{,}57 \text{ кНм}; \quad (2.42)$$

$$M'_{тр_1} = \frac{2P \times f_n \times \rho_{оп}}{i\eta} \times \frac{D_р}{D_{оп}} + \left(\frac{1}{\eta} - 1\right) \times \frac{2M_{пр_1}}{i} = 56 \text{ кНм};$$

$$M'_{тр_2} = \frac{2P \times f_n \times \rho_{оп}}{i\eta} \times \frac{D_р}{D_{оп}} + \left(\frac{1}{\eta} - 1\right) \times \frac{2M_{пр_2}}{i} = 53{,}7 \text{ кНм};$$

$$M'_{тр_3} = \frac{2P \times f_n \times \rho_{оп}}{i\eta} \times \frac{D_р}{D_{оп}} + \left(\frac{1}{\eta} - 1\right) \times \frac{2M_{пр_3}}{i} = 29{,}1 \text{ кНм};$$

$$M'_{тр_4} = \frac{2P \times f_n \times \rho_{оп}}{i\eta} \times \frac{D_р}{D_{оп}} + \left(\frac{1}{\eta} - 1\right) \times \frac{2M_{пр_4}}{i} = 18{,}8 \text{ кНм};$$

$$M'_{тр_5} = \frac{2P \times f_n \times \rho_{оп}}{i\eta} \times \frac{D_р}{D_{оп}} + \left(\frac{1}{\eta} - 1\right) \times \frac{2M_{пр_5}}{i} = 22{,}8 \text{ кНм};$$

$$M'_{тр_6} = \frac{2P \times f_n \times \rho_{оп}}{i\eta} \times \frac{D_р}{D_{оп}} + \left(\frac{1}{\eta} - 1\right) \times \frac{2M_{пр_6}}{i} = 18{,}1 \text{ кНм};$$

$$M'_{тр_7} = \frac{2P \times f_n \times \rho_{оп}}{i\eta} \times \frac{D_р}{D_{оп}} + \left(\frac{1}{\eta} - 1\right) \times \frac{2M_{пр_7}}{i} = 15{,}1 \text{ кНм};$$

$$M'_{тр_8} = \frac{2P \times f_n \times \rho_{оп}}{i\eta} \times \frac{D_р}{D_{оп}} + \left(\frac{1}{\eta} - 1\right) \times \frac{2M_{пр_8}}{i} = 12{,}9 \text{ кНм};$$

$$M'_{тр_9} = \frac{2P \times f_n \times \rho_{оп}}{i\eta} \times \frac{D_р}{D_{оп}} + \left(\frac{1}{\eta} - 1\right) \times \frac{2M_{пр_9}}{i} = 12{,}2 \text{ кНм};$$

$$M'_{тр_{10}} = \frac{2P \times f_n \times \rho_{оп}}{i\eta} \times \frac{D_p}{D_{оп}} + \left(\frac{1}{\eta} - 1\right) \times \frac{2M_{пр_{10}}}{i} = 11,8 \text{ кНм};$$

$$M'тр_{11} = \frac{2P \times f_n \times \rho_{оп}}{i\eta} \times \frac{D_p}{D_{оп}} + \left(\frac{1}{\eta} - 1\right) \times \frac{2M_{пр_{11}}}{i} = 10,2 \text{ кНм}.$$

Визначаємо момент холостого ходу:

$$M_{хол_{дуо}} = 0,06 \times 2M_{пр_{дуо}} = 0,06 \times 1312,8 = 78,8 \text{ кНм}; \quad (2.43)$$

$$M_{хол_1} = 0,06 \times 2M_{пр_1} = 0,06 \times 1825 = 109,5 \text{ кНм};$$

$$M_{хол_2} = 0,06 \times 2M_{пр_2} = 0,06 \times 1734,4 = 104,1 \text{ кНм};$$

$$M_{хол_3} = 0,06 \times 2M_{пр_3} = 0,06 \times 935,6 = 56,1 \text{ кНм};$$

$$M_{хол_4} = 0,06 \times 2M_{пр_4} = 0,06 \times 591,8 = 35,5 \text{ кНм};$$

$$M_{хол_5} = 0,06 \times 2M_{пр_5} = 0,06 \times 716 = 42,9 \text{ кНм};$$

$$M_{хол_6} = 0,06 \times 2M_{пр_6} = 0,06 \times 547,6 = 32,9 \text{ кНм};$$

$$M_{хол_7} = 0,06 \times 2M_{пр_7} = 0,06 \times 440,8 = 26,4 \text{ кНм};$$

$$M_{хол_8} = 0,06 \times 2M_{пр_8} = 0,06 \times 356 = 21,4 \text{ кНм};$$

$$M_{хол_9} = 0,06 \times 2M_{пр_9} = 0,06 \times 304,6 = 18,3 \text{ кНм};$$

$$M_{хол_{10}} = 0,06 \times 2M_{пр_{10}} = 0,06 \times 229,2 = 13,8 \text{ кНм};$$

$$M_{хол_{11}} = 0,06 \times 2M_{пр_{11}} = 0,06 \times 139,2 = 8,4 \text{ кНм}.$$

Визначаємо момент на волу двигуна:

$$M_{дв_{дуо}} = 2M_{пр_{дуо}} + M'_{тр_{дуо}} + M_{хол_{дуо}} = 1312,8 + 73,57 + 78,8 = 1465,17 \text{ кНм}; \quad (2.44)$$

$M_{дв_1} = 2M_{пр_1} + M'_{тр_1} + M_{хол_1} = 1825 + 56 + 109,5 = 1990,5$ кНм;

$M_{дв_2} = 2M_{пр_2} + M'_{тр_2} + M_{хол_2} = 1734,4 + 53,7 + 104,1 = 1892,2$кНм;

$M_{дв_3} = 2M_{пр_3} + M'_{тр_3} + M_{хол_3} = 935,6 + 29,1 + 56,1 = 1020,8$ кНм;

$M_{дв_4} = 2M_{пр_4} + M'_{тр_4} + M_{хол_4} = 591,8 + 18,8 + 35,5 = 646,1$ кНм;

$M_{дв_5} = 2M_{пр_5} + M'_{тр_1} + M_{хол_5} = 716 + 22,8 + 42,9 = 781,7$ кНм;

$M_{дв_6} = 2M_{пр_6} + M'_{тр_1} + M_{хол_6} = 547,6 + 18,1 + 32,9 = 598,6$ кНм;

$M_{дв_7} = 2M_{пр_7} + M'_{тр_7} + M_{хол_7} = 440,8 + 15,1 + 26,4 = 482,3$ кНм;

$M_{дв_8} = 2M_{пр_8} + M'_{тр_8} + M_{хол_8} = 356 + 12,9 + 21,4 = 390,3$ кНм;

$M_{дв_9} = 2M_{пр_9} + M'_{тр_9} + M_{хол_9} = 304,6 + 12,2 + 18,3 = 335,1$ кНм;

$M_{дв_{10}} = 2M_{пр_{10}} + M'_{тр_{10}} + M_{хол_{10}} = 229,2 + 11,8 + 13,8 = 254,8$кНм;

$M_{дв_{11}} = 2M_{пр_{11}} + M'тр_{11} + M_{хол_{11}} = 139,2 + 10,2 + 8,4 = 157,75$кНм.

Визначаємо потужність двигуна:

$$N_{дв_{дуо}} = M_{дв_{дуо}} \times \frac{V_{дуо}}{R_{дуо}} = 1465,17 \times \frac{0,94}{0,450} = 2742,3 \text{ кВт}; \qquad (2.45)$$

$$N_{дв_1} = M_{дв_1} \times \frac{V_1}{R_1} = 1990,5 \times \frac{1,09}{0,470} = 4616,3 \text{ кВт};$$

$$N_{дв_2} = M_{дв_2} \times \frac{V_2}{R_2} = 1892,2 \times \frac{1,13}{0,425} = 5031 \text{ кВт};$$

$$N_{дв_3} = M_{дв_3} \times \frac{V_3}{R_3} = 1020,8 \times \frac{1,62}{0,310} = 5334,5 \text{ кВт};$$

$$N_{дв_4} = M_{дв_4} \times \frac{V_4}{R_4} = 646,1 \times \frac{2,11}{0,310} = 4397,6 \text{ кВт};$$

$$N_{дв_5} = M_{дв_5} \times \frac{V_5}{R_5} = 781,7 \times \frac{0,68}{0,310} = 1714,7 \text{ кВт};$$

$$N_{дв_6} = M_{дв_6} \times \frac{V_6}{R_6} = 598,6 \times \frac{1,11}{0,310} = 2143,4 \text{ кВт};$$

$$N_{дв_7} = M_{дв_7} \times \frac{V_7}{R_7} = 482,3 \times \frac{1,79}{0,310} = 2784,9 \text{ кВт};$$

$$N_{дв_8} = M_{дв_8} \times \frac{V_8}{R_8} = 390,3 \times \frac{2,77}{0,310} = 3487,5 \text{ кВт};$$

$$N_{дв_9} = M_{дв_9} \times \frac{V_9}{R_9} = 335,1 \times \frac{4,35}{0,310} = 4702,2 \text{ кВт};$$

$$N_{дв_{10}} = M_{дв_{10}} \times \frac{V_{10}}{R_{10}} = 254,8 \times \frac{6,45}{0,310} = 5301,5 \text{ кВт};$$

$$N_{дв_{11}} = M_{дв_{11}} \times \frac{V_{11}}{R_{11}} = 157,75 \times \frac{10}{0,310} = 5088,9 \text{ кВт}.$$

Таблиця 2.3 – Розрахунок енерго – силових параметрів

Тип кліті	$\sigma_{Tср}$ $Н/_{мм^2}$	$P_{ср}$ $Н/_{мм^2}$	P МН	$2M_{пр}$ кНм	N кВт
Дуо	32,9	38,8	5,77	656,4	2742,3
1	46,6	50,1	6,9	912,5	4616,3
2	57,4	62,1	8,7	867,2	5031
3	65,8	72,2	6,9	467,8	5334,5
4	66,9	83,1	5,9	295,9	4397,6
5	80,4	116,1	7,9	358	1714,7
6	96,9	158,8	8,4	273,8	2143,4
7	122,9	227,8	9,25	220,4	2784,9
8	158,8	342,6	10,66	178	3487,5
9	212,1	545,2	13,7	152,3	4702,2
10	277,1	726,9	14,27	114,6	5301,5
11	315,7	850,4	14,46	69,6	5088,9

2.3. Розрахунок продуктивності стана

$$A_{час} = \frac{3600 \times G \times k_2}{T \times k_1}; \quad (2.46)$$

де G - маса злитка ; T – ритм прокатки; $t_п$ =14 с – час пауз;

k_1 – витратний коефіцієнт, для сталі; k_1 = 1,039;

k_2 – коефіцієнт використання стана; k_2 = 0,96.

Визначаємо масу сляба:

$$G = V \times \rho; \quad (2.47)$$

$$V = h_0 b_0 l_0 = 0{,}200 \times 1{,}230 \times 7 = 1{,}722 \text{ м}^3;$$

$$G = 1{,}722 \times 7{,}55 = 13 \text{т}.$$

Визначаємо час прокатки у 11 кліті:

де l_{11}= 660,8 м; V_{11}= 10 м/с;

$$t_{M_{11}} = \frac{l_{11}}{V_{11}} = \frac{660{,}8}{10} = 66{,}1 \text{ с}. \quad (2.48)$$

Визначаємо ритм прокатки:

$$T = t_м + t_п;$$

$$T = 66{,}1 + 14 = 80{,}5 \text{ с}. \quad (2.49)$$

Визначаємо продуктивність стану за годину:

$$A_{час} = \frac{3600 \times 13 \times 0{,}63}{80{,}5 \times 1{,}039} = 352.5 \text{ т/ч}. \quad (2.50)$$

3 МЕХАНІЧНА ЧАСТИНА

3.1. Розрахунок валків на міцність

Дані взяті з розрахунку спеціальній частині: в 11 – й кліті, Р=14,46 МН.

$М_{пр}$= 1,68 МН×м; $М_{тер}$= 0,013 МН×м; $М_{об}$ = 1,693 МН×м.

Таблиця 3.1 Параметри робочих та опорних валків

$D_{оп}$= 1240 мм	$d_{оп}$= 650 мм	$l_ш'$= 380 мм
$D_р$= 620 мм	$d_р$= 395 мм	$l_ш$= 650 мм

Розрахункова схема валків кліті кварто зображена на (Рис. 3.1)

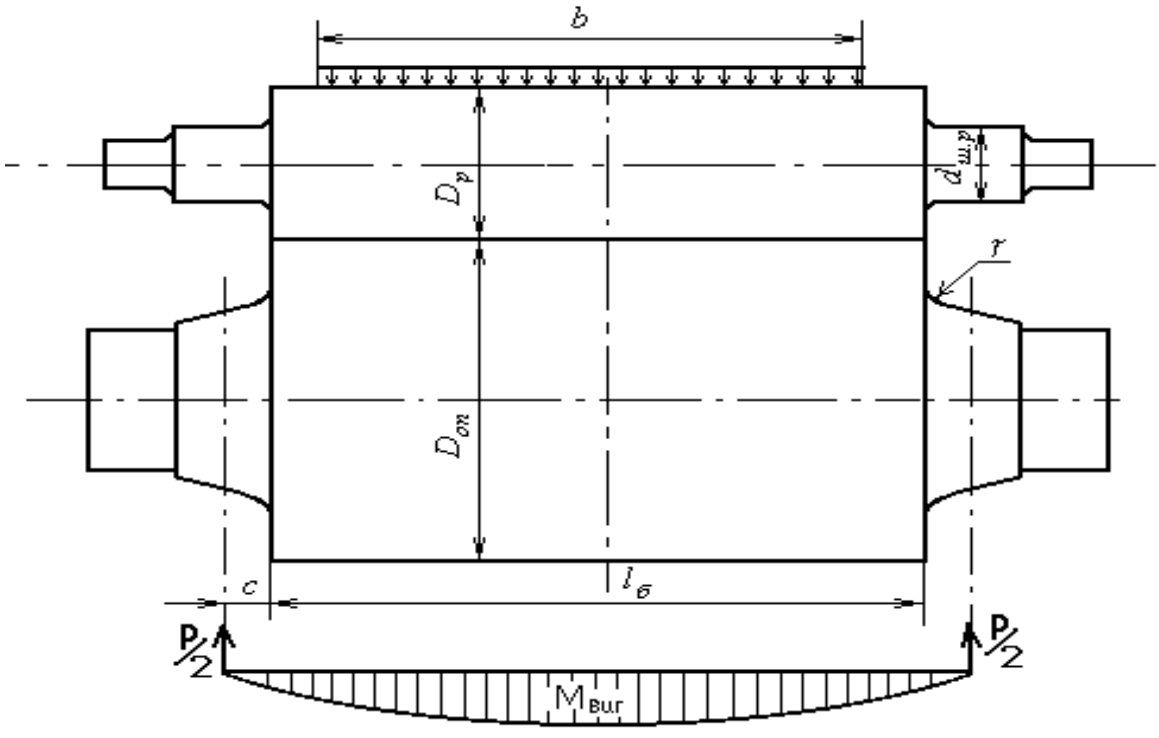

Рисунок 3.1- Розрахункова схема валків кліті кварто

Визначаємо відстань між опорами робочих валків:

де $l_б'$ - довжина бочки робочого валка;

$l_ш'$ - довжина шийки робочого валка;

$$a' = \left(l_б' + \frac{1}{2}l_ш' + \frac{1}{2}l_ш'\right) = 1{,}68 + \frac{1}{2}0{,}38 + \frac{1}{2}0{,}38 = 2{,}06 \text{ м.} \quad (3.1)$$

Визначаємо відстані між опорами опорних валків:

де $l_б$ - довжина бочки опорного валка;

$l_ш$ - довжина шийки опорного валка;

$$a = \left(l_б + \frac{1}{2}l_ш + \frac{1}{2}l_ш\right) = 1{,}68 + \frac{1}{2}0{,}65 + \frac{1}{2}0{,}65 = 2{,}33 \text{ м.} \quad (3.2)$$

Розподіляємо зусилля між робочими та опорними валками:

$$K = \left(\frac{D_{оп}}{D_р}\right)^4 = \left(\frac{1240}{620}\right)^4 = 16. \quad (3.3)$$

Визначаємо зусилля, яке приходить на робочий валок:

$$P_р = \frac{P}{(1+K)} = \frac{14{,}46}{1+16} = 0{,}85 \text{ МН.} \quad (3.4)$$

Визначаємо зусилля, яке приходить на опорний валок:

$$P_{оп} = P - P_р = 14{,}46 - 0{,}85 = 13{,}61 \text{ МН.} \quad (3.5)$$

Визначаємо згинаючий момент посередині бочки робочого валка:

$$M_р = P_р \times \frac{a'}{8} = 0{,}85 \times \frac{2{,}06}{8} = 0{,}22 \text{ МН} \times \text{м.} \quad (3.6)$$

Визначаємо максимальну згинаючу напругу у середині бочки робочого валка:

$$\sigma = \frac{M_p}{W_x} = \frac{M_p}{0{,}1 \times D_p^3} = \frac{0{,}22}{0{,}1 \times 0{,}62^3} = 9{,}18 \text{ МПа}. \quad (3.7)$$

Визначаємо згинаючий момент в небезпечному перерізі шийки робочого валка:

$$M_ш = P_p \times \frac{a' \times L}{4} = 0{,}85 \times \frac{2{,}06 - 1{,}68}{4} = 0{,}08 \text{ МН} \times \text{м}. \quad (3.8)$$

Визначаємо згинаючу напругу у небезпечному перерізі шийки робочого валка:

$$\sigma_ш = \frac{M_ш}{W_ш} = \frac{M_ш}{0{,}1 \times d_p^3} = \frac{0{,}08}{0{,}1 \times 0{,}395^3} = 13{,}1 \text{ МПа}. \quad (3.9)$$

Визначаємо дотичну напругу при крученні у небезпечному перерізі шийки робочого валка:

$$\tau_ш = \frac{M_к}{W_{рш}} = \frac{M_ш}{0{,}2 \times d_p^3} = \frac{0{,}08}{0{,}2 \times 0{,}395^3} = 6{,}5 \text{ МПа}. \quad (3.10)$$

Визначаємо результуючу напругу при крученні у небезпечному перерізі шийки робочого валка:

$$\sigma_{рез} = \sqrt{\sigma^2{}_ш + 3 \times \tau^2{}_ш} = \sqrt{171{,}61 + 3 \times 42{,}25} = 17{,}27 \text{ МПа}. \quad (3.11)$$

Визначаємо запас міцності робочого валка:

$\sigma_в$ = 400 МПа – запас міцності для чавунних валків

$$n_р = \frac{\sigma_в}{\sigma_{рез}} = \frac{400}{17,27} = 23,16. \quad (3.12)$$

Визначаємо згинаючий момент посередині бочки опорного валка:

$$M_{оп} = \frac{P_{оп}}{4} \times \left(a - \frac{b}{2}\right) = \frac{13,61}{4} \times \left(2,33 - \frac{1,2}{2}\right) = 5,9 \text{ МН}\times\text{м}. \quad (3.13)$$

Визначаємо згинаючу напругу посередині бочки опорного валка:

$$\sigma_{оп} = \frac{M_{оп}}{W_{оп}} = \frac{M_{оп}}{0,1 \times D_{оп}^3} = \frac{5,9}{0,1 \times 1,24^3} = 30,9 \text{ МПа}. \quad (3.14)$$

Визначаємо згинаючий момент у небезпечному перерізі шейки опорного валка:

$$M_{ш.оп} = P_{оп} \times \frac{a - L}{4} = 13,61 \times \frac{2,33 - 1,68}{4} = 2,21 \text{ МН}\times\text{м}. \quad (3.15)$$

Визначаємо згинаючу напругу у небезпечному перерізі шейки опорного валка:

$$\sigma_{ш.оп} = \frac{M_{ш.оп}}{0,1 \times d_ш^3} = \frac{2,21}{0,1 \times 0,65^3} = 80,5 \text{ МПа}. \quad (3.16)$$

Визначаємо запас міцності опорного валка:

$$n_{оп} = \frac{\sigma_в}{\sigma_{ш.оп}} = \frac{650}{80,5} = 8. \quad (3.17)$$

Визначаємо момент інерції перерізу бочки валка:

$$J_1 = \frac{\pi \times D^4}{64} = \frac{3,14 \times 1,24^4}{64} = 0,12 \text{ м}^4 \quad (3.18)$$

Визначаємо момент інерції перерізу шийки валка:

$$J_2 = \frac{\pi \times d^4}{64} = \frac{3,14 \times 0,65^4}{64} = 0,0088 \text{ м}^4 \quad (3.19)$$

Визначаємо прогин в результаті дії згинальних моментів:

$$f_1 = \frac{P}{384 \times E \times J_1} \times [8a^3 - 4 \times a \times b^2 + b^3 + 64 \times c^3 (\frac{J_1}{J_2} - 1)] =$$

$$\frac{14,46 \times 10^6}{384 \times 2,1 \times 10^{11} \times 0,12} [8 \times 2,33^3 - 4 \times 2,33 \times 1,25^2 + 1,25^3 + 64 \times 0,395^3 (\frac{0,12}{0,0088} - 1)] =$$

$$= 0,26 \text{ мм}. \quad (3.20)$$

Визначаємо прогин в слідстві дії поперечних сил:

$$f_2 = \frac{P}{\pi \times G \times D^2} \times [a - \frac{b}{2} + 2c (\frac{D^2}{d^2} - 1)] =$$

$$= \frac{14,46 \times 10^6}{3,14 \times 0,82 \times 10^{11} \times 1,24^2} [2,33 - \frac{1,25}{2} + 2 \times 0,395 (\frac{1,24^2}{0,65^2} - 1)] = 0,14 \text{ мм}. \quad (3.21)$$

Визначаємо сумарний прогин опорного валка по середині бочки:

$f_{сум} = f_1 + f_2 = 0{,}26 + 0{,}14 = 0{,}4$ мм. (3.22)

Для компенсації впливу прогину на товщину штаби один з робочих валків (необхідно зробити опуклим) шорсткість з опуклістю (0,3-0,5)

3.2. Розрахунок станини на міцність і визначення її жорсткості

Дано: $l_1 = l_3$=1940мм; l_2=5821мм; l_2/l_1=3; P=14,46МН;
E = 2,1$\times 10^5$МПа; G=0,82$\times 10^5$МПа.

Визначити міцність і жорсткість станини стану 1680.

Побудова нейтральної лінії станини, що проходить через центри тяжіння основних роз'ємних ліній станини (Рис 2.3).

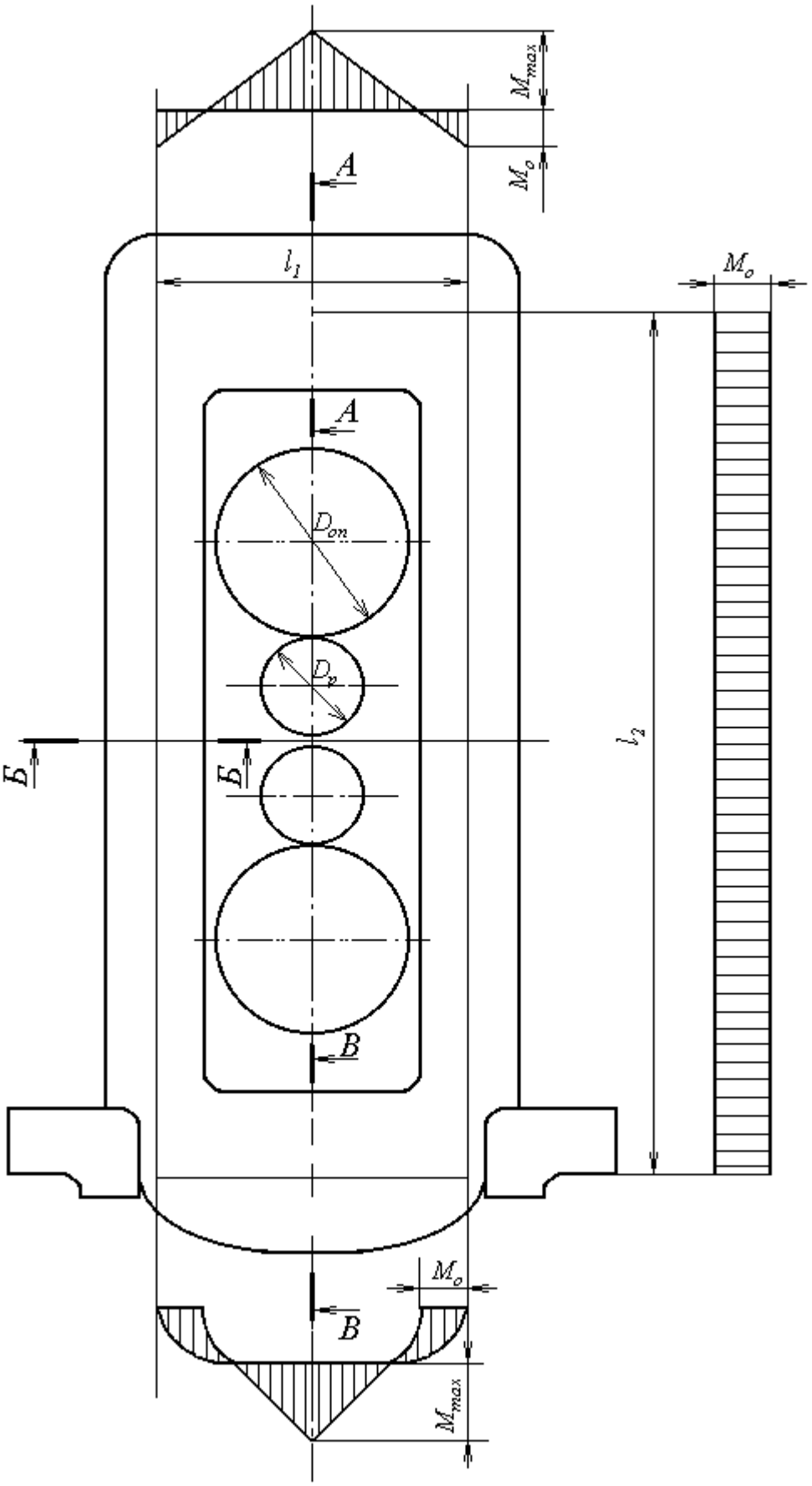

Рисунок 3.2 – Станина БШС 1680

Перетини станини наведені на (рис. 3.3).

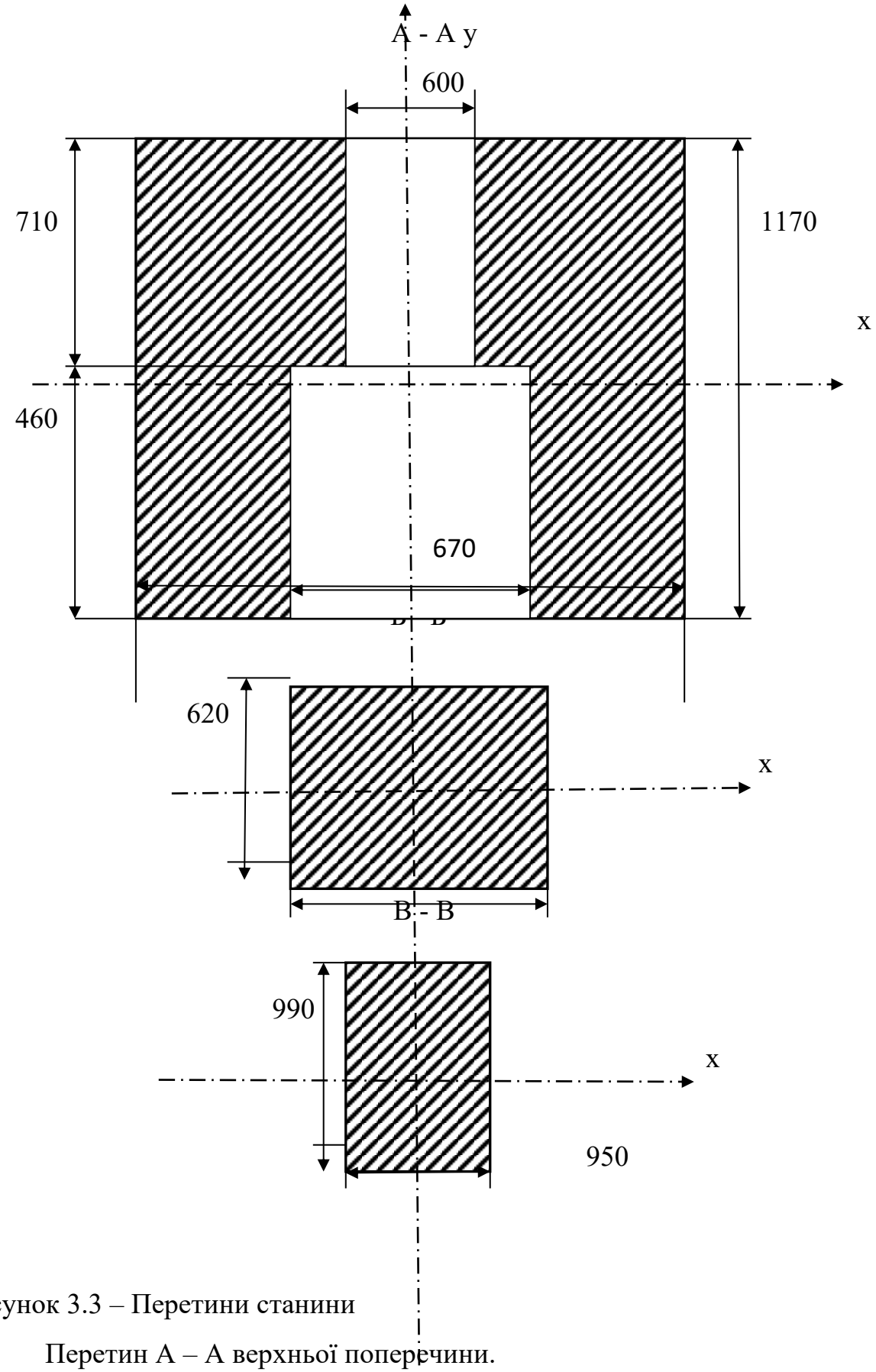

Рисунок 3.3 – Перетини станини

Перетин А – А верхньої поперечини.

Площа станини:

$$F_1 = f_1\text{-}f_2\text{-}f_3 = BH\text{-}b_1h_1\text{-}b_2h_2 = 1{,}93 \times 1{,}17\text{-}0{,}67 \times 0{,}46\text{-}0{,}57 \times 0{,}71 = 1{,}54 \text{м}^2. \quad (3.23)$$

Статичні моменти перетину щодо осі х–х:

$$S_1 = f_1\frac{H}{2} - f_2\frac{h_1}{2} - f_3\frac{h_2}{2} = 2{,}258 \times \frac{1{,}17}{2} - 0{,}31 \times \frac{0{,}46}{2} - 2{,}258 \times \frac{1{,}17}{2} = 1{,}104 \text{м}^3. \quad (3.24)$$

Ордината центру тяжіння:

$$Y_c = \frac{S_1}{F_1} = \frac{1{,}104}{1{,}54} = 0{,}717 \text{м}. \quad (3.25)$$

Моменти інерції перетину лінії щодо осі x_1–x_1 тяжкості, що проходить через центр:

$$i_1 = BH \times [\frac{H^2}{12} + (Y_c - \frac{H}{2})^2] = 2{,}258 \times [\frac{1{,}17^2}{12} + (0{,}717 - \frac{1{,}17}{2})^2] = 0{,}297 \text{ м}^4; \quad (3.26)$$

$$i_1 = b_1h_1 \times [\frac{h_1^2}{12} + (Y_c - \frac{h_1}{2})^2] = 0{,}31 \times [\frac{0{,}46^2}{12} + (0{,}717 - \frac{0{,}46}{2})^2] = 0{,}079 \text{ м}^4;$$

$$i_1 = b_2h_2 \times [\frac{h_2^2}{12} + (Y_c - \frac{h_2}{2})^2] = 0{,}41 \times [\frac{0{,}71^2}{12} + (0{,}717 - \frac{0{,}71}{2})^2] = 0{,}071 \text{ м}^4;$$

$$J_1 = 0{,}297 - 0{,}079 - 0{,}071 = 0{,}147 \text{ м}^4.$$

Мінімальний момент опору перетину А – А:

$$W_1 = \frac{J_1}{F_1} = \frac{0{,}12}{1{,}54} = 0{,}078 \text{ м}^3. \quad (3.27)$$

Перетин стійки станини Б – Б.

$$F_2 = B'H' = 0{,}74 \times 0{,}62 = 0{,}46 \text{ м}^2; \quad (3.28)$$

$$J_2 = B'H' \times \frac{H^2}{12} = 0{,}46 \times \frac{0{,}62^2}{12} = 0{,}015 \text{ м}^4;$$

$$W_2 = \frac{J_2}{F_2} = \frac{0{,}015}{0{,}46} = 0{,}033 \text{ м}^3.$$

Перетин В – В нижньої поперечини.

$$F_3 = B''H'' = 0{,}95 \times 0{,}99 = 0{,}94 \text{ м}^2; \quad (3.29)$$

$$J_3 = B''H'' \times \frac{H^2}{12} = 0{,}94 \times \frac{0{,}99^2}{12} = 0{,}077 \text{ м}^4;$$

$$W_3 = \frac{J_3}{F_3} = \frac{0{,}077}{0{,}94} = 0{,}082 \text{ м}^3.$$

В результаті одержуємо:

J_1=0,12 м^4; J_3=0,077 м^4; n = J_1/J_3 = 1,9; J_2= 0,015 м^4; J_1/J_2 = 9,8;
m = 9,8×3 = 29,4; F_1= 1,54 м^2; W_1= 0,078 м^3; F_2= 0,46 м^2; W_2= 0,033 м^3;
F_3= 0,94 м^2; W_3= 0,082 м^3.

Визначаємо максимальний момент вигину верхньої і нижньої поперечини силою У:

$$M_п = \frac{У \times l_1}{4} = \frac{14{,}46 \times 1{,}94}{4} = 7{,}49 \text{ МН×м.} \quad (3.30)$$

Знаходимо статично невизначні моменти в кутках жорсткої рами по формулі:

$$M_1 = \frac{M_П}{2} \times \frac{1}{1+\frac{(3n+m)m}{3n+(2-n)m}} = \frac{7,49}{2} \times \frac{1}{1+\frac{(3\times1,9+29,4)\times29,4}{3\times1,9+(2-1,9)\times29,4}} = 0,031 \text{ МН}\times\text{м};$$

(3.31)

$$M_З = \frac{M_П}{2} \times \frac{1}{1+\frac{(3+m)m}{3n+(2n-1)m}} = \frac{7,49}{2} \times \frac{1}{1+\frac{(3+29,4)\times29,4}{3\times1,9+(2\times1,9-1)\times29,4}} = 0,317$$

МН×м;

$$M_0 = \frac{M_П}{2} \times \frac{1}{1+m} = \frac{7,49}{2} \times \frac{1}{1+29,4} = 0,123 \text{ МН}\times\text{м}.$$

Визначаємо напруги розтягування у середині верхньої і нижньої поперечини по формулі:

$$\sigma_в = \frac{M_П - M_1}{W_1} = \frac{7,49-0,031}{0,095} = 78,5 \text{ МПа}; \quad (3.32)$$

$$\sigma_н = \frac{M_П - M_З}{W_З} = \frac{7,49-0,317}{0,082} = 87,5 \text{ МПа}.$$

Розраховуємо напругу розтягування в стійки станини по формулі:

$$\sigma_{max} = \frac{Y}{2\times F_2} + \frac{M_1+M_З}{2\times W_2} = \frac{15,44}{2\times0,46} + \frac{0,031+0,317}{2\times0,033} = 22,1 \text{ МПа}. \quad (3.33)$$

де F_2 F_2 і W_2 – площа і момент опору перетину АВ стійки.

Запас міцності станини для нижньої поперечини при межі міцності вуглецевої литої сталі МПа:

$$n = \frac{600}{87,5} = 6,8. \qquad (3.34)$$

Визначаємо прогин середнього перетину від вигину і дії поперечних сил по формулі:

верхньої поперечини:

$$f_B = f_B^{'} + f_B^{''} = \frac{l_1^2}{8EJ_1} \cdot \left(\frac{Yl_1}{6} - M_1 \right) + k \frac{Yl_1}{4GF_1} \qquad .$$

(3.35)

де $k = 1.2$ (для прямокутного перетину балки-поперечини);

G – модуль зрушення;

$$f_в = \frac{1,94^2}{8 \times 2,1 \times 10^5 \times 0,12} \times \left(\frac{15,44 \times 1,94}{6} - 0,031 \right) \times 1000 + 1,2 \times \frac{15,44 \times 1,94 \times 1000}{4 \times 0,82 \times 10^5 \times 1,54} =$$

= 0,162мм.

нижньої поперечини:

$$f_н = \frac{1,94^2}{8 \times 2,1 \times 10^5 \times 0,015} \times \left(\frac{15,44 \times 1,94}{6} - 0,317 \right) \times 1000 + 1,2 \times \frac{15,44 \times 1,94 \times 1000}{4 \times 0,82 \times 10^5 \times 0,94} =$$

= 0,204мм.

Знаходимо пружне розтягування стійки станини по формулі:

$$f_2 = \frac{Yl_2}{2EF_2} = \frac{14,46 \cdot 5.265 \cdot 1000}{2 \cdot 2.1 \cdot 10^5 \cdot 0.46} = 0.421 \qquad (3.36)$$

Сумарну деформацію станини по вертикалі визначаємо по формулі:

$$f_{CT} = f_B + f_H + f_2 = 0.162 + 0.204 + 0.421 = 0.787 \qquad (3.37)$$

Сумарна деформація станини по вертикалі (у напрямі дії У) для станів гарячого плющення 0.6 – 1.0 мм.

На практиці пружні властивості станини зручніше характеризувати не величиною пружної деформації при заданому зусиллі У, а так званою конструктивною пружною жорсткістю (або модулем жорсткості С, МН/м):

$$C = \frac{У}{f_{CT}} = \frac{14{,}46}{0.787} = 19{,}62 \text{ МН/м.} \qquad (3.38)$$

Прогин стійок станини по горизонталі (всередину вікна станини) повинен бути невеликим, оскільки інакше може відбутися «заміщення» подушок верхнього валка (при зазорі L = 0), переміщуваних по вертикалі по планках, напрямних, прикріплених до стійок усередині вікна станини [34].

Горизонтальний прогин однієї стійки (усередині вікна станини) посередині висоти (довжини) стійки l_2 можна визначити, приймаючи, що в цьому перетині діє реактивний момент, рівний половині суми моментів M_1 і M_3; тоді

$$f_Г = \frac{(M_1 + M_2)l_2^2}{2 \cdot 8EJ_2} = \frac{(0.58 + 0.801)5.265^2 \cdot 1000}{2 \cdot 8 \cdot 2.1 \cdot 10^5 \cdot 0.015} = 0.759 \text{ мм} \qquad (3.39)$$

Таким чином, при збірці робочої кліті необхідно передбачити зазор між верхньою подушкою валка і планкою, напрямної, з внутрішньої сторони вікна станини рівний L L 0.76 мм.

3.3. Розрахунок на міцність натискних гвинтів

Дано: максимальне осьове зусилля на натискний гвинт при прокатці Y= 14,46 Мн; максимальна швидкість переміщення гвинта по вертикалі 0,25м/с, зовнішній діаметри різьби d == 440 мм, режим роботи механізму - повторно-короткочасний.

Обираємо натискний гвинт УП 440, який має завзяту (односторонню трапецеїдальної) різьбу 48 мм, [σ] = 150.

Розраховуємо діаметри різьби:

Внутрішній: d_1 = d-1, 7 S = 440-1,7 48 = 358 мм, (3.40)

Середній: d_2 = d-0, 75 S = 440-0,75 48 = 404мм,

α = arctg = arctg0, 038 = 10 '.

Знаходимо напругу стиснення в перерізі нижнього опорного кінця гвинта, що має найменший діаметр dн = 350 мм:

$$\sigma_{cm} = \frac{4Y}{\pi d_H^{\,2}} = \frac{4\times15{,}44\times10^6}{3{,}14\times350^2} = 160{,}56\text{Н/мм2} \qquad (3.41)$$

Напруга крутіння в тілі гвинта при Мв = 6,1 кН м:

$$\tau = \frac{M_B}{0{,}2d_H^{\,3}} = \frac{6{,}1\times10^6}{0{,}2\times350^3} = 248{,}98\ \text{Н/мм}^2 \qquad (3.42)$$

Матеріал гвинта-сталь 40ХН.Нажимна гайка висотою Н = 720 мм і зовнішнім діаметром D = 750мм; кількість витків різьби:

$$z = \frac{H}{S} = \frac{720}{48} = 15. \qquad (3.43)$$

Знаходимо напругу зминання між витками гвинта і гайки:

$$\sigma_{см\,1} = \frac{4Y}{\pi(d^2 - d_1{}^2)z} = \frac{4\times15{,}44\times10^6}{3{,}14\times(65436)\times15} = 20{,}03\ \text{Н/мм}^2 \qquad (3.44)$$

Знаходимо напругу зминання по площі опору гайки із станиною:

$$\sigma_{см\,2} = \frac{4Y}{\pi(D^2 - D_{опв}{}^2)} = \frac{4\times15{,}44\times10^6}{3{,}14\times(341600)} = 57{,}58\ \text{Н/мм}^2 \qquad (3.45)$$

Матеріал гайки Бр.АЖ9-4ЛУ періоди пауз між пропусками металу через валки на торці натискних гвинтів діє зусилля від вантажного пристрою урівноваження верхнього валка (зусилля переуравновешіванія). На один гвинт зусилля становить 150 кн.

Момент необхідний для обертання гвинта пауз, знаходимо за формулою:

При опусканні гвинта:

$$M_в' = 150\left[\frac{0{,}52}{3}\,0{,}1 + \frac{0{,}404}{2}\,tg\,(2^o10' + 4^o34')\right] = 6{,}1\ кн\times м \qquad (3.46)$$

При підйомі гвинта:

$$M_в'' = 150\left[\frac{0{,}52}{3}\,0{,}1 + \frac{0{,}404}{2}\,tg(4^o34' - 2^o10')\right] = 3{,}8\ кн\times м \qquad (3.47)$$

Кожен натискний гвинт приводиться від окремого вертикального електродвигуна постійного струму потужністю 180-270квт, номінальний момент електродвигуна при $\omega_н = \frac{\pi}{30} n_н$

$$M_в=\frac{N_H}{\omega_H} = 9{,}56\frac{180}{500} = 3{,}44\ кн \times м \quad (3.48)$$

Між двигуном і натискним гвинтом мається зубчасті передача з передаточним числом і = 4.5 η = 0,95.

При опусканні гвинта:

$$M_{ст}' = \frac{6{,}1}{4{,}6 \times 0{,}95} = 1{,}42 \text{ кн}\times\text{м} \quad (3.49)$$

При підйомі гвинта:

$$M_{ст}'' = \frac{3{,}8}{4{,}5 \times 0{,}95} = 0{,}89 \text{ кн}\times\text{м} \quad (3.50)$$

Приведений до валу електродвигуна момент інерції всіх обертових мас:

$$J_{об} = 25 + \frac{300}{4{,}5^2} = 40\ кг \times м^2 \quad (3.51)$$

У період розгону і гальмування електродвигун здатний працювати з кутовим прискоренням і розвивати динамічний момент:

При опусканні натискного гвинта при ε = 50 1/с^2:

$$M_{дин}' = 40\text{x}50 = 2000 \text{ Н}\times\text{м} \quad (3.52)$$

При підйомі натискного гвинта при ε = 60 1/с^2:

$$M_{дин}'' = 40\text{x}60 = 2400 \text{ Н}\times\text{м} \quad (3.53)$$

Моменти на валу електродвигуна в період розгону:

При опусканні натискного гвинта:

$$M_{дв}' = M_{ст}' + M_{дин}' = 1,42+2 = 3,42 \text{ кн} \times \text{м} \quad (3.54)$$

При підйомі натискного гвинта:

$$M_{дв}'' = M_{ст}'' + M_{дин}'' = 0,89+2,4 = 3,29 \text{ кн м.} \quad (3.55)$$

Величину пружної деформації натискного гвинта визначаємо за формулою:

$$\delta_{пруж} = \frac{4 \times P \times h}{\pi \times E \times d_B^{\,2}} = \frac{4 \times 15,44 \times 10^6 \times 1000}{3,14 \times 2,2 \times 10^5 \times 415^2} = 0,77 мм, \quad (3.56)$$

де Р-тиск на гвинт;

h-висота частин гвинта, що стикається;

Е-модуль пружності матеріалу гвинта;

$d_в$-внутрішній діаметр натискного гвинта (по різьбі) = 415мм.

Як відомо навантаження на гвинт гайки розподіляється нерівномірно, виходячи з цього повна пружна деформація складе:

$$\delta_{повне} = \frac{4 \times P(h - 1,87h_P)}{\pi(D_H^{\,2} \times d_B^{\,2})E_1} = \frac{4 \times 15,44 \times 10^6 (410 - 1,87 \times 10)}{3,14(276675)2,2 \times 10^5} = 0,42 мм. \quad (3.57)$$

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА

4.1. Аналіз потенційно небезпечних і шкідливих чинників виробничого середовища ЦГПТЛ

До основних небезпечних і шкідливих факторів у цеху гарячої прокатки відносяться:

– інфрачервоне випромінювання гарячого металу, під впливом якого робітник проводить 83,3% усього робочого часу і яке при даних роботах впливає на зорові органи людини (300 - 4000 Вт/м);

– шкідливі хімічні речовини такі як: ангідрид хромовий, оксид марганцю, акролеїн, сірководень, оксид вуглецю і мінеральні масла, які протягом 83,3% робітника часу впливають на внутрішні органи людини;

– пил, що виділяється при вигорянні оксиду металу. Пил є одним з основних шкідливих факторів, які протягом 91,4% робітника часу впливають на слизову оболонку органів подиху, що приводять к захворюванням;

– шум, на ділянці безперервного стану гарячої прокатки "1680", внаслідок роботи устаткування, виникає підвищений шум 90...92 дБА при нормі 80 дБА;

– мікроклімат, узятий у результаті парникової атмосфери, що утворюється при підвищеній температурі навколишнього середовища, що, впливаючи на робітника протягом 100% робочого часу, приводить як до зниження працездатності, так і до захворювань робітників;

– вібрація.

Оцінка факторів виробничого середовища наведена в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Оцінка факторів виробничого і трудового процесу вальцювальника

№ П/п	Фактори виробничого середовища і трудового процесу	Норм. знач. (ГДК, ПДК)	Фактич. знач.	III ступеня вредн. і опасн. усл. і характер праці			Час дії фактора за зміну,%
				I	II	III	
1.	Шкідливі хімічні речовини, мг/м^3 : <u>I клас небезпеки</u> Ангідрид хромовий	0,01	0,06			6,0	90
	Оксид марганцю	0,05	0,39			7,8	90
2.	<u>II клас небезпеки</u> Акролеїн	0,2	0,66		3,3		90
3.	<u>III-IV клас небезпеки</u> Ангідрид сірчистий	10	16,83	1,63			90
4.	Вуглецю оксид	20					90
	Масла мінеральні	5	25	1,25			90
5.	Пил,переважно фиброгеної дії, мг/м^3	4	6,78	1,36		6,5	90
6.	Вібрація (загальна й локальна), дБ		26,3			8	
7.	Шум, дБ Інфразвук, дБ	80	105			25	100
	Ультразвук, дБ						
8.	Мікроклімат у приміщенні: - температура повітря, ^{o}C	27	32,1				100
	- швидкість руху повітря, м/с	0,1-0,2	<0,3		5,1		
	- відносна вологість повітря,%	55	32				83
	- інфрачервоне випромінювання Вт/м^2	140	411		411		

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

чинниками. Таким чином, проведений аналіз умов праці дозволяє зробити висновок, що умови праці відносяться до 3 класу III ступеню. За показниками робоче місце слід важати з особливо шкідливими і особливо важкими умовами праці.

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

Перелік технічних і санітарно-гігієнічних мір захисту виробничої сфери і робочих місць наведені в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Міри захисту від впливу небезпечних і шкідливих факторів

Небезпечний або шкідливий фактор	Захисний пристрій	Принцип дії і призначення	Місце установки
Підвищений рівень шуму	Звукоізолюючі кабіни і перегородки	Звукопоглинання і відбиття, ізоляція органів слуху	Біля джерел шуму, у приміщенні оператора
Паровиделення	Витяжна вентиляція	Примусовий механічний отсос пар, що утворилися	Над станом
Небезпечний рівень струму	Ізоляція і огородження струмоведучих частин; заземлення й блокування	Захист від дотику до струмоведучих частин, захист від дотику до металевих частин устаткування. Захист від високих рівнів струму	Навколо струмоведучих частин, біля корпусів електродвигуна
Рухливі механізми	Запобіжники плавкі, пускачі дистанційні Кожуха, сітки, запобіжні пристрої	Захист від зіткнення із частинами, що рухаються, і механізмами. Захист від травм під час руху й переміщення металу	На панелях пульта керування
Метал що переміщається	Огородження і розмітка небезпечної зони. Знаки безпеки		На території небезпечної зони

4.3. Опалення і вентиляція

Істотний вплив на стан організму людини, його працездатність чинить мікроклімат у виробничих приміщеннях, під яким розуміють клімат внутрішнього середовища цих приміщень, що визначається діючими на організм людини поєднання температури, вологості, швидкості руху повітря і теплового випромінювання нагрітих поверхонь.

Санітарні норми передбачають наступні значення параметрів мікроклімату (табл. 4.3).

Таблиця 4.3 – Значення прийнятих припустимих і оптимальних параметрів повітряного середовища в робочій зоні виробничих приміщень

Категорія роботи за важкістю	Теплий період року						Температура повітря поза постійних робочих місць, °С
	На постійних робочих місцях						
	Температура повітря, °С		Відносна вологість повітря, %		Швидкість руху повітря, м/с		
	опт.	доп.	опт.	доп.	опт.	доп.	
Легка -1а	23-25	22-28	40-60	55(при28^{0}С)	0,1	0,1-0,2	20-30
Легка - 1б	22-24	21-28	40-60	60(при 27^{0}С)	0,2	0,1-0,3	19-30
Середньої важкості 2а	21-23	18-27	40-60	65(при 26^{0}С)	0,3	0,2-0,4	17-29

Для приведення до норми параметрів мікроклімату застосовують наступні заходи:

а) аерацію;

б) кондиціювання;

в) вентиляцію;

г) технічні засоби зниження тепловиділення від агрегатів.

Аерація – це природна, організована вентиляція, що здійснюється завдяки різниці температури повітря в приміщенні й зовнішнім повітрі, а також у результаті дії вітру.

Аерація прокатного цеху є основним і найбільш простим і діючим оздоровчим заходом. Висока ефективність її пояснюється можливістю пропустити через цех у плині години велику кількість свіжого зовнішнього повітря, що практично неможливо домогтися при штучній вентиляції.

Витяжні отвори розташовуються в самій верхній частині будинку у витяжних ліхтарях, а отвори для припливу свіжого повітря – у нижній частині у стінах будинку.

Схема аерації будинку нагрівальних колодязів прокатного цеху наведена на рис. 4.1.

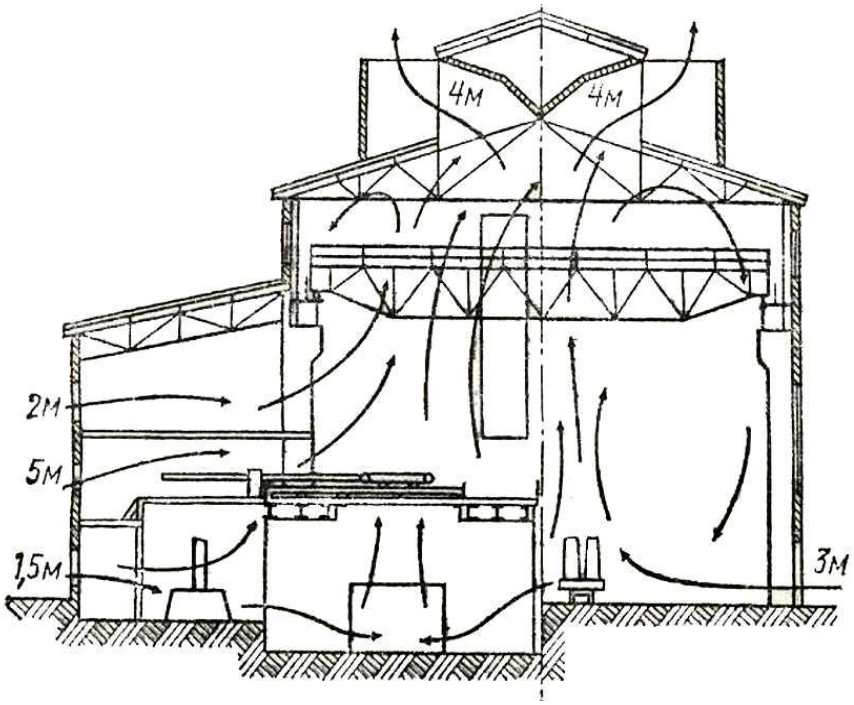

Рисунок 4.1 – Схема аерації будинку нагрівальних колодязів

У літній період року при значній температурі зовнішнього повітря кондиціювання повітря в прокатному цеху є зовсім необхідним. Без кондиціювання повітря неможливо забезпечити в замкнутих і

важкопровітрюваних ділянках прокатного цеху, а також на робочих місцях, що піддаються тепловому опроміненню, сприятливих метеорологічних умов праці, регламентованих санітарними нормами.

При кондиціюванні повітря очищається від пилу і доводиться до необхідної температури і вологості.

До числа ефективних заходів, що знижують температуру в прокатному цеху, ставиться приточна вентиляція, що обдуває, крапкового типу при фіксованих робочих місцях і зональна, коли потрібно обдування значних площ у стана.

Висока ефективність вентиляції, що обдуває, пояснюється тим, що завдяки швидкому руху повітря значно прискорюється випар поту з поверхні тіла людини, а це сприяє інтенсивному охолодженню організму.

4.4. Освітленість у цеху

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

Згідно ДБН В.2.5-28-2006 роботи, виконувані персоналом при прокатці слябів, ставляться до 8 розряду зорових робіт. У приміщеннях цеху для висвітлення застосовують, як правило, газорозрядні лампи. Типи світильників вибирають залежно від умов їхньої роботи і вимог до якості висвітлення. Для загального висвітлення застосовують світильники «Альфа». У місцях підвищеної небезпеки, де освітленість при системі загального висвітлення становить 150лк і менш, норму освітленості збільшують на 1 розряд.

У випадку виходу з ладу робочого висвітлення використають аварійне освітлення, що забезпечує можливість продовження роботи або евакуації персоналу. У прокатному цеху установка аварійного освітлення обов'язкова на пості керування прокатним станом; пунктах керування системами

водопостачання, вентиляції і каналізації, у машинному залі і диспетчерському пункті.

Найменша освітленість робочих поверхонь потребуючі обслуговування при аварійних режимах становить 5% освітленості, нормованої для загального робочого висвітлення, але не менш 2 лк. Аварійне висвітлення для евакуації персоналу, проходів і сходів не менш 0,5 лк.

Для виробничих приміщень, у яких виробляються точні роботи, установлені три розряди з мінімальними нормами при комбінованому освітленні лампами накалювання: I розряд – для робіт, що вимагають розрізнення деталей розміром 0,1мм і менш - 400 –1500лк; II розряд – для робіт потребуюче розрізнення деталей розміром більше 0,1 до 0,3мм - 300 – 1000лк; III розряд – для робіт потребуючого розрізнення деталей розміром більше 0,3 до 1мм - 200 – 500лк; IV розряд – для робіт малої точності, що вимагають розрізнення деталей розміром від 1,0 до 10мм - 100 –150лк; V розряд – для грубих робіт потребуючого розрізнення деталей розміром більше 10мм – 100лк.

В таблицях 4.4 та 4.5 представлені нормовані значення природної та штучної освітленості виробничих процесів

Таблиця 4.4 – Нормовані значення природної освітленості виробничих процесів

Характеристика зорової роботи	Найменший розмір об'єкта для розрізнення	Розряд зорової роботи	Коефіцієнт природного освітлення $E_н$, %	
			При верхнім і комбінованому освітленні	При звичайному освітленні
Середньої точності	0,5-1	IV	3,6	1,4

Таблиця 4.5 – Нормовані значення штучної освітленості виробничих процесів

Характеристика зорової роботи	Найменший розмір об'єкта для розрізнення	Розряд зорової роботи	Підрозрядність	Контрастність	Фон	Газорозрядні лампи	Лампи розжарювання
Середньої точності	0,5-1	IV	А	Малий	Темний	300	200
			Б	Малий	Середній	200	150
			Б	Середній	Темний	200	150
			В	Малий	Світлий	200	150
			В	Середній	Середній	150	100
			В	Великий	Темний	200	100
			Г	Середній	Світлий	150	100
			Г	Великий	Світлий	150	100
			Г	Великий	Середній	150	100

4.5. Виробничий шум і виробнича вібрація

Все діюче устаткування стану 1680, а також сам процес прокатки генерує шум і вібрацію.

Надмірний шум впливає на здоров'я працюючих, сприяє виникненню травматизму і знижує продуктивність праці. Робота в умовах підвищеного шуму протягом усього дня викликає стомлення слухових органів. Тривалий вплив шуму, що перевищує припустимі норми, приводить до втрати слуху. Шум високих тонів негативно впливає на органи, що управляють рівновагою людини в просторі.

На стані при роботі виникають низькочастотний шум, спектр якого перевищує межі припустимого рівня. Рівень шуму на стані становить 98дБА, що значно перевищує межі припустимого 80 дБА.

Заходи щодо захисту від шуму зводяться до наступних:

а) застосуванню звукоізолюючих кожухів для закривання особливо гучного устаткування або ізоляції устаткування від виробничих приміщень;

б) застосуванню глушників шуму при випуску відпрацьованих газів, парів, повітря.

в) застосуванню звукоізолюючих матеріалів (бетонна стіна поглинає тільки 0,5 % шуму, цегельна – 3,2 %, а стіна обшита повстю товщиною 50 мм – 70 %);

г) використанню засобів індивідуального захисту від шуму (бируши, навушники).

Вібрація – коливання тіл із частотою менш 20 - 16 Гц. При підвищенні частоти коливань вібруючих тіл виникає і шум. Тривалий вплив струсів великої частоти і амплітуди викликає вібраційну хворобу, що вражає нервово-м'язову і серцево-судинну системи людини та приводить до ушкодження суглобів. Симптоми вібраційної хвороби проявляються у вигляді головного болю, оніміння пальців рук, болю в кистях і передпліччі, виникають судороги, підвищується чутливість до охолодження, з'являється безсоння.

Заходи щодо захисту від вібрації зводяться до наступних:

а) заміні виробничих процесів, що викликають шум і вібрації, іншими менш гучними процесами;

б) раціоналізації виробничого устаткування;

в) пристрою спеціальних фундаментів, незалежних від конструкцій будинків і маючих значну масу і акустичні шви; застосування ізолюючих прокладок;

г) раціональному сполученню повітропроводів з повітродувними машинами і кріпленню трубопроводів на опорах із прокладками;

д) зниженню вібрації за рахунок сили тертя демпферного пристрою, тобто переклад коливальної енергії в теплову.

е) використанню індивідуальних засобів захисту від вібрації (взуття з повстяними або гумовими підошвами, антивібраційні рукавиці).

Гаряча прокатка на стані 1680 супроводжується підвищеним рівнем тепловипромінювання від нагрітих злитків. Рівень інфрачервоного випромінювання на стані становить 936 Вт/м^2, що значно перевищує припустиме значення 140 Вт/м^2. Теплове випромінювання сприяє

перегріванню організму і негативно впливає на зір працюючих. Надмірне сильне тепловипромінювання різко погіршує умови праці і може викликати опіки шкіри та втрату працездатності.

Для зменшення тепловипромінювання необхідно максимально знижувати температуру джерел променистого тепла.

Для захисту працюючих від тепловипромінювання поряд зі зменшенням інтенсивності випромінювання встановлюють між джерелами тепловипромінювання і працівниками екрани або завіси, що затримують інфрачервону радіацію.

Екрани з листового металу, що підшивається азбестом, зменшують інтенсивність опромінення, тому їх рекомендується виконувати багатошаровими з повітряними проміжками між окремими шарами і покривати алюмінієвою фарбою. При екрануванні необхідно залишати між поверхнею і екраном повітряний проміжок (80-200 мм) для вільної циркуляції повітря. Так як операторам стану потрібно вести спостереження за процесами, то екрани необхідно виконувати із прозорих матеріалів або з густої металевої сітки.

Тепловиділення від нагрівальних печей можна значно знизити теплоізоляцією їхньої кладки і охолодженням окремих елементів печі, зменшенням вибивання з отворів печей полум'я і газів, застосуванням кришок, що щільно закриваються. Здійснення цих заходів дозволяє скоротити тепловиділення від печей на 40 - 50 %.

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

Становий проліт відповідно до вимог ПУЕ СНіП 111-33-76 ставиться до зони класу В-16 – це зона, розташована в приміщеннях, у яких при

нормальній експлуатації вибухонебезпечні суміші горючих газів або пар ЛВР із повітрям не утворяться, а можливі тільки в результаті аварій або несправностей.

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

Фактичне значення струму на ділянці I = 5,9 А, при напрузі відповідно U= 220-380 В.

Однієї з основних причин поразки електричним струмом є пробій ізоляції.

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

Нещасні випадки можливі також при впливі електричного струму через дугу; безпосереднім зіткненням з відкритими струмоведучими частинами і проводами; випадковому, не викликаному виробничою необхідністю, або вплив при помилкової подачі напруги під час ремонтів і оглядів; при дотику до металевих частин устаткування, які випадково опинилися під напругою; при торканні струмоведучих частин за допомогою предметів з низьким опором ізоляції; при зіткненні з будівельними деталями конструкцією, які випадково оказались під напругою; при впливі крокових напруг і др.

Небезпека електричних поразок створює різноманітне устаткування: електричний привод (включаючи пускорегулюючу апаратуру), електроустаткування підйомно-транспортних пристроїв, електрифікований внутрішньозаводський транспорт, зварювальні апарати, високочастотні і освітлювальні установки, переносний інструмент і т.д.

Заходи захисту від поразки електричним струмом:

У цехах з підвищеною температурою повітря використають наступні міри захисту від поразки електричним струмом:

а) захист від дотику до струмоведучих частин;

б) захист від дотику до устаткування, які випадково оказались під напругою;

в) захист від струмів надмірної сили (короткого замикання).

У першому випадку застосовують огородження і ізоляцію струмоведучих частин, розміщення їх на недоступній висоті, використання зниженої напруги.

У другому випадку, найпоширенішому, конструктивно простій і дуже ефективним заходом захисту є заземлення. Захисні функції заземлюючого пристрою складаються в зниженні до безпечної величини напруги щодо землі на металевих частинах, які оказались випадково під напругою, що дозволяє усунути небезпека поразки дотику до них людини.

Приєднання корпусів і інших конструктивних металевих частин електроустаткування до заземлюючого нульового проведення; називається захисним зануленням. Ціль захисного занулення перетворити пробій на корпус у коротке замикання між фазним і нульовим проведеннями, викликати тим самим протікання великого струму через захист і швидко відключити ушкоджене устаткування від мережі.

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

При обслуговуванні електроустановок застосовують основні і допоміжні захисні засоби. До основного ставляться захисні засоби, ізоляція яких надійно витримує робочу напругу установки і при користуванні якими допускається безпосередній дотик до струмоведучих частин, що перебуває під напругою. До додаткового ставляться засоби захисту, що підсилюють дію

основних засобів і які забезпечують безпеку при напрузі дотику і кроковій напрузі. До засобів індивідуального захисту відносяться: ізолююча штанга, що ізолюють кліщі, діелектричні боти, діелектричні рукавички, що ізолюють підставки і ін.

Вибір схеми мереж. Прокатний цех ставиться до приміщень із підвищеною небезпекою поразки людей електричним струмом. Тут діють такі шкідливі фактори виробничого середовища: висока температура повітря (перевищує 32^0 С) запиленість повітря (перевищує в 2,13 рази ГДК) струмопровідним пилом, шум, інфрачервоне випромінювання. З огляду на вищевикладене зробимо вибір мережі і покажемо на розрахунках, що вона задовольняє умовам безпеки.

Схема мережі, а отже і режим нейтрали джерела струму, що живлять цю мережу, вибираються по технологічних вимогах, а також за умовами безпеки.

По технологічних вимогах і за умовами безпеки самою оптимальною є чотирьохпроводна мережа із глухозаземленною нейтралью, тому що вона дозволяє використати дві робочі напруги – лінійну і фазну. Від чотирьохпроводної мережі 380 В можна живитися як силове навантаження – трьохфазне або однофазну, включаючи її між фазними проводами на лінійну напругу 380 В, так і освітлювальну, включаючи її між фазним і нульовим проведеннями, тобто на фазну напругу 220 В. При цьому досягається значне здешевлення електроустановки в цілому завдяки застосуванню меншого числа трансформаторів і меншого перетину проводів.

Приміщення цеху по ОНТП 24-86 ставляться до категорії «Г» по пожежобезпечності, це викликано тим, що в цеху має місце наявність пожежонебезпечних факторів, пов'язаних із застосуванням газових сумішей IV групи для опалення нагрівальних печей, а також із застосуванням його при порізі металу за допомогою переносних газоріжучих пристроїв, що змазують і гідравлічних рідин, які можуть при більших температурах запаляться.

Для гасіння виниклих пожеж передбачені пожежні щити, розташовані протипожежні гідранти, поширені засоби індивідуального пожежогасіння, а також розроблені системи блокування поширення пожежі.

Необхідний ступінь вогнестійкості виробничих будинків промислових підприємств визначається СНіП 2.09.02-85 залежно від категорії виробництва, площі і висоти будинку. Стіни будинку зроблені з неспаленного матеріалу.

Для гасіння пожеж у прокатному цеху застосовують тверді, рідкі і газоподібні речовини: вода, інертний газ, хімічну і повітряно-механічну піни, пісок.

У цеху застосовується пожежне водопостачання в якому витрата води на зовнішнє водопостачання 15 л/с.

У прокатному цеху, у цей час застосовуються і пінні вогнегасники типу ВХП-10; ВВП-5; ВВП-10, у кількості 10 штук, які розташовані на протипожежних стендах.

Для успішної евакуації людей і цінностей передбачені виходи припустимої довжини і ширини, розміри дверних прорізів, що забезпечують достатню пропускну здатність, необхідна число сходових кліток і пожежних сходів.

4.6. Розрахунок спринклерної системи пожежогасіння

В якості об'єкта для встановлення системи пожежогасіння обраний маслоподвал площею $S = 60м^2$ і висотою $h = 3м$. Маслоподвал відноситься до категорії В, що передбачає наявність у приміщенні горючі пил та волокна, рідин з температурою спалаху більше 61 º С, речовин, здатних горіти при взаємодії з водою, киснем повітря або одне з одним; твердих важкогорючих матеріалів. Визначимо ємність бака з пінним розчином Qб, кількість зрошувачів n, повний напір Н.

Інтенсивність зрошення пінним розчином g = 0,40 л / (с • м2), час роботи установки t = 60 хв., максимальна відстань між зрошувачами Lmax = 4м. Приймаються величину напору перед зрошувачами Н = 10 м.

Визначаємо обсяг бака Qб:

$$Qб = S * g * t = 60 * 0,40 * 3600 = 86400 \text{ л або } 86,4 \text{ м}^3 \qquad (4.1)$$

Визначаємо витрату пінного розчину Qd через один зрошувач, де: k - коефіцієнт продуктивності зрошувача (генератора), приймається за таблицею 4.7.

Таблиця 4.7 - Значення продуктивності зрошувача залежно від діаметра вихідного отвору зрошувача

Діаметр вихідного отвору зрошувача, мм	Значення коефіцієнта k
8	0,20
10	0,31
12	0,42
15	0,71

Для пожежогасіння вибираємо зрошувачі з діаметром вихідного отвору 10 мм. Тоді Qd буде дорівнює:

$$Qd = 0,31 \sqrt{10} = 0,98 \text{ л / с} \qquad (4.2)$$

Часова витрата пінного розчину через один зрошувач складе:

$$Qdч = 0,98 * 3600 = 3528 \text{ л / год або } 3,5 \text{ м}^3 \text{ / ч.} \qquad (4.3)$$

Визначаємо кількість зрошувачів n:

$$n=60/3,5=18 \qquad (4.4)$$

Розподіляємо зрошувачі за площею маслопідвала (рис 4.2), під стелею. Маслопідвал може бути підключений до внутрішнього пожежного трубопроводу.

Втрати напору H_1 на ділянці транспортують пінний розчин трубопроводів, м:

$$H_1=24/9,4=2,55м \quad (4.5)$$

де: Q - витрата розчину на розрахунковій ділянці трубопроводу, л / с;

B - характеристика трубопроводу.

Характеристика трубопроводу визначається за наступною формулою:

$$B=9,4м \quad (4.6)$$

де: k1 - коефіцієнт, що приймається за таблицею Б7,

l - довжина ділянки трубопроводу, м.

Для транспортування пінного розчину приймаємо сталеву електрозварні трубу з діаметром умовного проходу 125 мм і товщиною стінки 3,2 мм. для

такої труби коефіцієнт $k1 \approx 13530$ [36].

Приймаються довжину трубопроводу l=60м.

Необхідний напір піни на установці пожежогасіння H, м:

$$H' = H + H_1 + H_2, \quad (4.7)$$

де H2 - втрати напору на вузлах управління (клапанах).

$$H_2 = \zeta \bullet Q2, \quad (4.8)$$

де ζ - коефіцієнт втрат напору у вузлі управління, приймається 4.

Q - розрахункова витрата пінного розчину, л / с.

$$H_2 = 4 \cdot 10\text{-}3\ (24)\ 2 = 2{,}3 \text{ м} \qquad (4.9)$$

$$H' = 10 + 2{,}55 + 2{,}3 = 14{,}85 \text{ м}.$$

Приймаються повний напір пінного розчину для пожежогасіння 15м (1,5 ат).

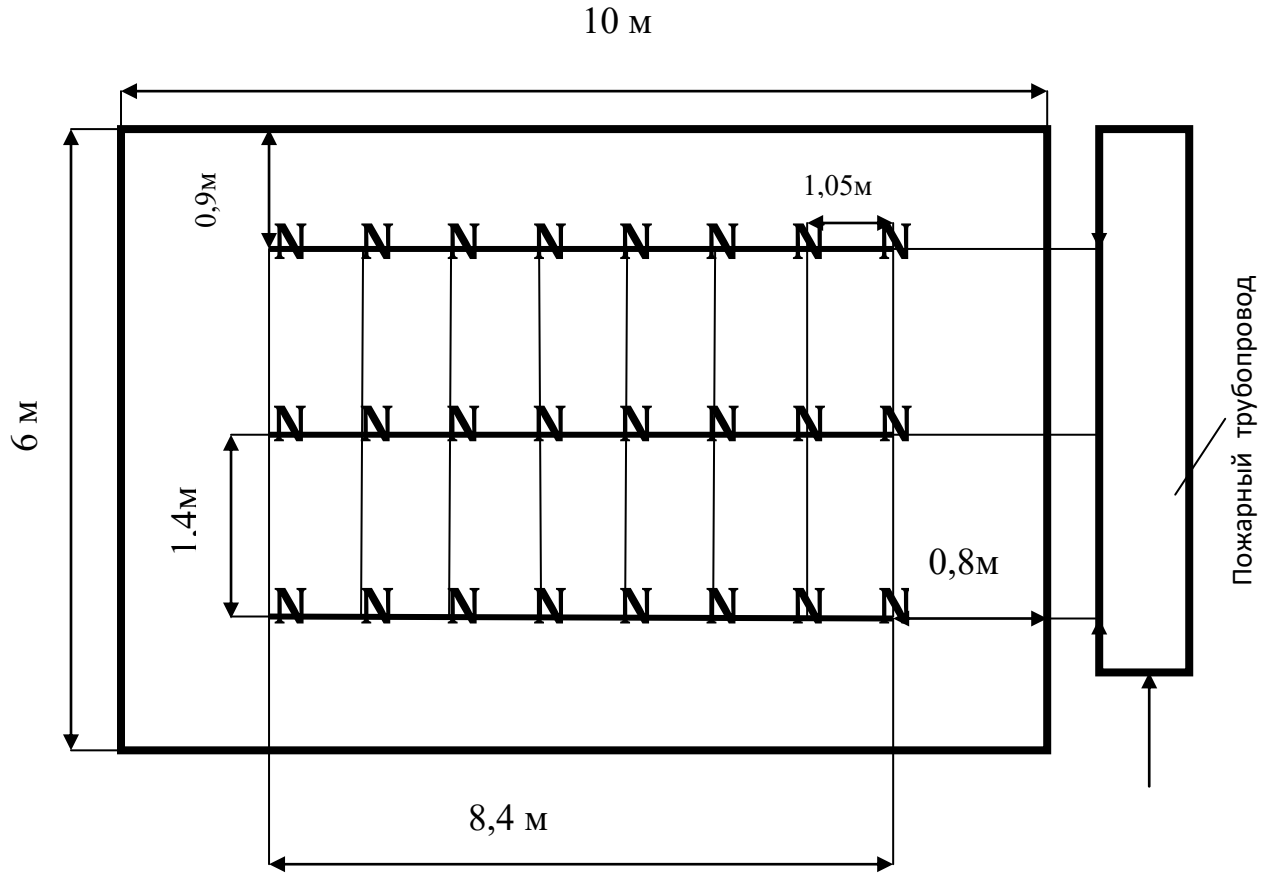

Рисунок 4.2 - Розподіл зрошувачів за площею маслоподвала

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Проаналізовано сучасний стан технологічного процесу виробництва гарячекатаної штаби на БТЛС 1680 ПАТ «Запоріжсталь».

Встановлено, що стан має ряд недоліків пов'язаних з низькою продуктивністю стану:

- конструкція стану застаріла і не забезпечує якісної прокатки штаб товщиною 1 мм.
- низька швидкість прокатування листової сталі обумовлено низькою температурою у кінці прокатки.
- велика напруга на чистову групу клітей.
- великий знос клітей.

2. У якості технічного рішення добавити одну кліть у чистові групу, яка дозволить виконувати наступні операції:

- високу швидкість прокатування листової сталі до 10 м/с .
- Розширення сортаменту стана.
- Прокатка широкоштабової сталі товщіною до 1 мм.
- Ефективна прокатка без різькіх перепадів температури сталі.
- Мінімальні динамічні навантаження чистової групи клітей
- Надійність і довговічність основних вузлів кліті.

Що дозволить збільшити швидкість прокатки та якість рулонів.

3. За результатів енергосилових параметрів штаби 1×1250 мм, встановлено, що максимальне зусилля склало: P = 14,46 МН; потужність двигуна знаходиться на рівні $N_{дв_{дуо}}$ = 2742 кВт → $N_{дв_{10}}$ = 5088 кВт. Показано, що можливе проведення технологічного процесу прокатування штаби зі сляба товщиною 200 мм. В результаті впровадження даного технологічного процесу збільшується продуктивність стана на 352,5 т/год.

4. Результати розрахунків на міцність деталей прокатного стану показали, що запас міцності для валків склав 23,16 для робочого 8 для опорного; для станини 6,8.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Середа Б.П. Обробка металів тиском : навчальний посібник. Запоріжжя : ЗДІА, 2009. 293 с.

2. Середа Б.П. Металловедение и термическая обработка черных и цветных металлов : учебн. пос. Запорожье : ЗГИА, 2002. 264 с.

3. Середа Б.П. Прокатне виробництво : навчальний посібник. Запоріжжя : ЗДІА, 2008. 254 с.

4. Середа Б.П. Термическая обработка : учебное пособие для студентов ЗГИА. Запорожье : ЗГИА, 2003. 270 с.

5. Гулидов И.Н. Оборудование прокатных цехов : учебное пособие для вузов, 2004. 320 с.

6. Зиновьев А.В., Полухин В.П., Романцев Б.А. и др. Обработка металлов давлением. Сборник статей. Учебное пособие для вузов. Москва : МИСиС, 2004. 784 с.

7. Нагрев слябов и прокатка полос на непрерывном тонколистовом стане горячей прокатки 1680. Технологическая инструкция ТИ226-П.ГЛ-01-94, ОАО "Запорожсталь", Запорожье, 1994.

8. Производство горячекатанных полос и листов из спецсталей. Технологическая инструкция ТИ226-П.ГЛ-05-98, ОАО "Запорожсталь", Запорожье, 1998.

9. Грудев А.П., Машкин Л.Ф., Ханин М.И. Технология прокатного производства. Москва : Металлургия, 1994. 651 с.

10. Технология прокатного производства / Под ред. В.И. Зюзина, А.В. Третьякова. Москва : Металлургия, 1991. 432 с.

11. Литовченко Н.В. Станы и технология прокатки листовой стали. Москва : Металлургия, 1979. 272 с.

12. Васильев Я. Д., Дементиенко А. В. Исследование точности поперечного профиля горячекатаного подката // *Производство проката*. 2002. № 8. С. 16-21.

13. Васильев Я. Д., Дементиенко А. В. Условия (критерии) плоскостности при прокатке полос и листов // *Изв. вуз. Черная металлургия*. 2003. № 9. С. 30-34.

14. Гостев К.А. Основные направления повышения качества листовой прокатки и современные требования к валкам // *Сталь*. 2002. №2. С. 52-55.

15. Шаталов Р.Л. Управление показателями качества и деформируемостью полос при прокатке // *Сталь.* 2003. №9. С. 31-34.

16. Третьяков А.В., Гарбер Э.А., Давлетбаев Г.Г. Расчет и исследования прокатных валков. 2-е изд. Москва : Металлургия, 1976. 256 с.

17. Целиков А.И., Томленов А.Д., Зюзин В.И. Теория прокатки. Справочник. Москва : Металлургия, 1962. 324 с.

18. Божков А. И., Настич В. П. Плоскостность тонколистового проката. Москва : «СП. ИНТЕРМЕТ ИНЖИНИРИНГ», 1998. 264 с.

19. Д. Ауцингер, Г. Джумлиджа, Т. Наджуис. Применение современных технологических методов для улучшения профиля и плоскосности горячекатаной полосы // *Сталь.* 2003. №12. С. 37-40.

20. Целиков А.И. Теория расчета усилий в прокатных станах. Москва : Металлургия, 1964. 542 с.

21. Целиков А.И., Никитин Г.С., Рокотян С.Е. Теория продольной прокатки. Учебник для студентов машиностроительных и металлургических вузов. Москва : Металлургия, 1980. 320 с.

22. Коробов М.Я. Финансы промышленного предприятия : учебник. Киев : Лебедь, 1995. 160 с.

23. Беняковский М.А., Богоявленский К.Н, Виткин А.И и др. Технология прокатного производства. В 2-х книгах. Справочник: Москва : Металлургия, 1991. 863 с.

24. Васильев Я. Д. Обработка металлов давлением: Сб. науч. тр. ДМетИ. Москва : Металлургия, 1980. Вып. 60. С. 35-38.

25. Коновалов Ю.В., Налча Г.И., Савранский К.Н. Справочник прокатчика. Москва : Металлургия, 1977. 312 с.

26. Коновалов Ю. В., Остапенко А. Л. и др. Расчет параметров листовой прокатки: справочник. Москва : Металлургия, 1986. 430 с.

27. Васильев Я. Д., Сафьян А. М. Производство полосовой и листовой стали. Киев : Вища школа, 1976. 192 с.

28. Даниэли. Новая клеть для полубесконечной прокатки // *Сталь*. 2000. №10. С. 71-73.

29. Железнов Ю. Д. Прокатка ровных полос и листов. Москва : Металлургия, 1971. 200 с.

30. И.В. Боровков, В.Л. Носов, А.В. Кушнарев. Повышение стойкости опорных валков станов горячей прокатки // *Прокатное производство*. 2003. №1. С. 55-57.

31. Чумиков А.М., Черяпкин А.Ф. Совершенствование гидравлического привода противоизгиба и уравновешивания валков // *Прокатное производство*. 2005. №4. С. 101-107.

32. Королев А.А. Конструкция и расчет машин и механизмов прокатных станов : Учебное пособие для вузов. 2-е изд., перераб. и доп. Москва : Металлургия, 1985. 376 с.

33. А.А. Будаква, Ю.В. Ткалич К.Н. Коновалов. Профилирование валков листовых станов. Киев : Техника, 1986. 190 с.

34. Лахтин Ю.М. Металловедение и термическая обработка металлов. Москва : Металлургия, 1979. 320 с.

35. Масленков С.Б., Масленкова Е.А. Стали и сплавы для высоких температур. Справочное издание в 2-х книгах. Книга 1. Москва : Металлургия, 1991. 383 с.

36. Коробов М.Я. Финансы промышленного предприятия : учебник. Киев : Лебедь, 1995. 160 с.

37. Юдин Е.Я. Охрана труда в машиностроении : учебное пособие. Москва : Машиностроение, 1983. 432 с.

38. Белов С.Б. Охрана окружающей среды : учебное пособие. Москва : Высшая школа, 1983. 264 с.

39. Вышинский В.В., Ленский Ю.Н., Комов И.Г. и др. Охрана труда в черной металлургии. 2-е изд. перераб. и доп. Киев : Техника, 1986. 192 с.

40. Батис М. идр. Новые технологии и оборудование для получения сверхтонкой горячекатаной полосы // *Сталь*. 2004. №3. С. 30-32.

41. Панасейко С.П., Тарасов В.К., Павленеко Ю.П. Методические указания к выполнению раздела "Охрана труда" в дипломных проектах для студентов всех специальностей. Запорожье : ЗГИА, 2002. 56 с.

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