

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

**ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ
КАФЕДРА ТЕПЛОЕНЕРГЕТИКИ ТА ГІДРОЕНЕРГЕТИКИ**

Кваліфікаційна робота
другий магістерський
(рівень вищої освіти)

на тему Аналіз ефективності прискороного охолодження гарячекатаних рулонів

Виконав: студент 2 курсу, групи 8.1449з
спеціальності 144 Теплоенергетика
(код і назва спеціальності)
освітньої програми «Теплоенергетика»
(код і назва освітньої програми)
спеціалізації _____
(код і назва спеціалізації)

Полозський Є.О.
(ініціали та прізвище)

Керівник доц. каф. металургії, к.т.н. Румянцев В.Р.
(посада, вчене звання, науковий ступінь, підпис, ініціали та прізвище)

Рецензент доцент кафедри ТГЕ

к.т.н., доцент

М.Ю. Бердишев

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

Запоріжжя
2020

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

Кафедра теплоенергетики та гідроенергетики
Рівень вищої освіти другий магістерський
Спеціальність 144 Теплоенергетика
(код та назва)
Освітня програма Теплоенергетика
(код та назва)
Спеціалізація _____
(код та назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри _____

« 03 » грудня 2020 року

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТОВІ (СТУДЕНТЦІ)

Полозському Євгену Олександровичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1 Тема роботи (проекту) Аналіз ефективності прискореного охолодження гарячекатаних рулонів

керівник роботи Румянцев Владислав Ростиславович к.т. н., доцент
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом ЗНУ від «25» травня 2020 року № 601-с


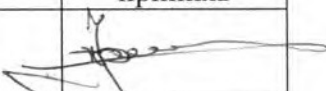
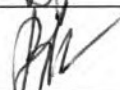


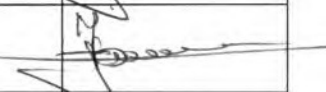
2 Строк подання студентом роботи 01 грудня 2020р.

3 Вихідні дані до роботи Кількість рулонів складає – 259 одиниць за добу. Маса кожного рулону 16 т. Початкова температура рулонів 500 °С.

4 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Аналіз існуючих способів охолодження рулонів. 2. Аналіз ефективності прискореного охолодження гарячекатаних рулонів. 3. оцінка можливості утилізації теплоти при охолодженні рулонів. 3. Розробка заходів з охорони праці та техніки безпеки.

5 Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) 1. Схема повітряного охолодження. 2. Схема водяного охолодження. 3. Схема повітряно – водяного охолодження. 4. Зміна температури поверхні та центру рулону при повітряному охолодженні 5. Зміна температури поверхні та центру рулону при водяному охолодженні. 6. Схема прискореного охолодження рулонів.

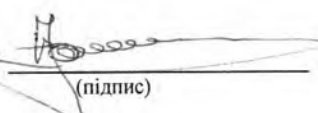
6 Консультанти розділів роботи


Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1 розділ	Румянцев В.Р., доцент кафедри металургії		
2 розділ	Румянцев В.Р., доцент кафедри металургії		
Охорона праці	Румянцев В.Р., доцент кафедри металургії		

7 Дата видачі завдання 1 червня 2020 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз існуючих способів охолодження рулонів.	1.06.2020- 1.08.2020	
2	Аналіз ефективності прискореного охолодження гарячекатаних рулонів.	1.08.2020- 1.10.2020	
3	Розробка заходів з охорони праці і техніка безпеки	1.10.2020- 1.11.2020	
4	Розробка графічного та презентаційного матеріалу	1.11.2020- 1.12.2020	

Студент  Є.О. Полозський
(підпис) (ініціали та прізвище)

Керівник роботи (проекту)  В.Р. Румянцев
(підпис) (ініціали та прізвище)

Нормоконтроль пройдено

Нормоконтролер  Ю.М. Каюков
(підпис) (ініціали та прізвище)

АНОТАЦІЯ

Полозський Є. О. Аналіз ефективності прискореного охолодження гарячекатаних рулонів.

Кваліфікаційна випускна робота для здобуття ступеня вищої освіти магістра за спеціальністю 144 – Теплоенергетика, науковий керівник В.Р. Румянцев. Запорізький національний університет. Інженерний навчально – науковий інститут. Кафедра теплоенергетики та гідроенергетики, 2020.

У кваліфікаційній роботі показана ефективність прискореного охолодження рулонів. Виконано дослідження способу охолодження на якість кінцевого продукту. Знайдено розподіл температур у злитку при повітряному та водяному охолодженні. Доведено, що утилізація теплоти при водяному охолодженні дозволить використовувати її для потреб гарячого водопостачання.

Ключові слова: рольганг, гарячекатаний рулон, повітряне охолодження, гаряче водопостачання, утилізація теплоти, темп охолодження.

ABSTRACT

Polozsky E. Analysis of the efficiency of accelerated cooling of hot-rolled rolls.

Qualification final work for obtaining a master's degree in the specialty 144 - Heat Power Engineering, supervisor V. Rumyansev. Zaporizhzhya National University. Engineering educational and scientific institute. Department of Heat Power Engineering and Hydropower Engineering, 2020.

The qualification work shows the efficiency of accelerated cooling of the rolls. A study of the method of cooling on the quality of the final product. The temperature distribution in the ingot during air and water cooling is found. It is proved that the utilization of heat during water cooling will allow to use it for the needs of hot water supply.

Key words: roller conveyor, hot-rolled roll, air cooling, hot water supply, heat utilization, cooling rate.

АННОТАЦИЯ

Полозский Е. А. Анализ ускоренного охлаждения горячекатаных рулонов.

Квалификационная выпускная работа для получения степени высшего образования магистра по специальности 144 - Теплоэнергетика, научный руководитель В.Р. Румянцев. Запорожский национальный университет. Инженерный учебно – научный институт. Кафедра теплоэнергетики и гидроэнергетики, 2020.

В квалификационной работе показана эффективность ускоренного охлаждения рулонов. Выполнены исследования способа охлаждения на качество конечного продукта. Найдено распределение температур в слитке при воздушном и водяном охлаждении. Доказано, что утилизация теплоты при водяном охлаждении позволит использовать ее для нужд горячего водоснабжения.

Ключевые слова: рольганг, горячекатаный рулон, воздушное охлаждение, горячее водоснабжение, утилизация теплоты, темп охлаждения.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
1 ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ЦЕХУ ГАРЯЧОГО ПРОКАТУ ТОНКОГО ЛИСТА ПАТ «МК «ЗАПОРІЖСТАЛЬ».....	9
1.1 Технологія горячого плющення тонкого листа	9
1.1 Водоспоживання і водовідведення	11
1.3 Схема водопостачання	12
1.4 Аналіз способів охолодження рулонів гарячекатанної смуги	13
1.4.1 Примусове охолодження рулонів повітрям	14
1.4.2 Водоповітряне охолодження рулонів	17
1.4.3 Примусове охолодження рулонів водою	20
1.5 Конструкції пристроїв для охолодження	25
1.6 Висновки за розділом	28
2 АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРИСКОРЕНОГО ОХОЛОДЖЕННЯ ГАРЯЧЕКАТАНИХ РУЛОНІВ	30
2.1 Сучасна кількість гарячекатаних рулонів, фактичне їх охолодження на складі.....	30
2.2 Теплотехнічний розрахунок охолодження рулонів.....	30
2.3 Устаткування для охолодження гарячекатаних рулонів водою	42
2.5 Аналіз можливості використання теплоти від рулонів для опалення та ГВП	60
3.1. Виявлення та оцінка шкідливих і небезпечних чинників виробничого процесу	63
3.2 Аналіз потенційно небезпечних і шкідливих факторів виробничого середовища	64
3.3 Технічні рішення по гігієні праці та виробничій санітарії	66
3.4 Техногенна безпека	68
3.5 Інженерний розрахунок аерації цеху	70
ВИСНОВКИ	74
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ.....	76

ВСТУП

Актуальність роботи. Основними конструкційними матеріалами були і залишаються сталі і сплави, що диктується широкою гаммою їх фізичних і механічних властивостей, а так само розвиненою сировинною і технологічною базою виробництва. Якість гарячекатаної листової сталі остаточно формується в процесі охолодження рулонів від температури змотування (550...950) °С до температур, що допускаються умовами подальших технологічних операцій. Тривалість природного охолодження рулонів охолодження вимагає наявності значних складських площ і, що саме головне, уповільнює оборотність оборотних коштів підприємства, погіршуючи економічні показники його роботи. В процесі тривалого природного охолодження відбувається зміна стійких характеристик низьковуглецевих і низьколегованих сталей, зростає нерівномірність механічних властивостей по довжині смуг. На внутрішніх витках рулонів, тривалий час що знаходяться в умовах високих температур, формується важкотравима окалина з переважаючим вмістом гематиту Fe_2O_3 і магнетиту Fe_3O_4 . Це погіршує якість гарячекатаних листів. Для скорочення тривалості охолодження рулонів гарячекатаних смуг найчастіше використовують їх примусове прискорене охолодження наступних видів: повітряне, водоповітряне, водяне.

Об'єкт дослідження – процеси нестационарної теплопровідності, що відбуваються при природньому та примусовому охолодженні.

Предмет дослідження – гарячекатані рулони.

Мета роботи – на основі виконаного аналізу літературних джерел запропонувати ефективний спосіб примусового охолодження гарячекатаних рулонів.

Задачі дослідження. Для досягнення поставленої мети в роботі вирішуються наступні задачі:

– провести аналіз літературних джерел щодо існуючих способів охолодження гарячекатаних рулонів сталі.

– отримати розподіл температур у злитку та час охолодження при різних способах охолодження гарячекатаних рулонів.

Методи та засоби дослідження. Використано розрахунково – дослідний метод. Результати дослідження представляються у вигляді таблиць та графіків залежностей різних способів охолодження рулонів.

Практична цінність роботи полягає у тому, що результати роботи є основою для розробки рекомендацій щодо подальшого використання теплоти для потреб гарячого водопостачання.

Апробація роботи. Результати роботи представлені на загальноуніверситетській конференції «Молода наука» 2020.

Структура та обсяг роботи. магістерська кваліфікаційна робота включає анотацію, вступ, три розділи, висновки та перелік джерел посилань. Загальний обсяг складає 80 сторінок.

1 ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ЦЕХУ ГАРЯЧОГО ПРОКАТУ ТОНКОГО ЛИСТА ПАТ «МК «ЗАПОРІЖСТАЛЬ»

1.1 Технологія горячого плющення тонкого листа

Цех призначений для горячого плющення тонкого листа з вуглецевої, легованої і неіржавіючої сталі. Після плющення лист йде на переділ в цех гнутих профілів, а товарний лист йде на інші металургійні підприємства.

Основним устаткуванням цеху є безперервний тонколистовий стан горячого плющення «1680». Фото стану наведено на рисунку 1.1.



Рисунок 1.1 – Безперервний тонколистовий стан горячого плющення «1680»

14 червня 1959 року у експлуатацію введений перший в Союзі спеціалізований цех гнутих профілів. У листопаді 1976 року продукції ЦГПТЛ – рулонній гарячекатаній сталі і 50-ти типорозмірів профілів – привласнений знак якості. Збільшення темпів плющення і розширення асортименту продукції, що випускається, зажадало подальшої реконструкції.

У 1978 році був досягнутий рекордний обсяг виробництва – 3 млн. 676 тисяч тонн продукції, включаючи 130 тисяч тонн металу спеціального призначення. В середньому рівень виробництва склав 512 тонн за годину.

У 1995 році на безперервному стані горячого плющення “1680” продовжується впровадження технології прямого плющення слябів без

їх нагріву в методичних печах. Вперше в Україні освоюється плющення за схемою: «один злиток – один сляб – один гарячекатаний повновагий рулон».

Допоміжне устаткування цеху - це методичні печі, роликів правильна машина, моталки, обробні агрегати, мийний агрегат, травильні агрегати, гартівна машина. Стан «1680» складається з двох груп – чорнової і чистової.

До складу чорнової групи входить:

- одна двохвалкова кліть - робочі валки діаметром (900...810) мм, завдовжки 1680 мм, привід від електродвигуна потужністю 1840 кВт;

- чотири чотиривалкові кліті (№1,2,3,4) з приводами потужністю відповідно №1 - 5400 кВт №2,3,4 - 3700 кВт, з робочими валками діаметром (949...980) мм, (850...780) мм, (620...580) мм.

- три вертикальні кліті №1,2 з валками діаметром (810...760) мм і №3 діаметром (610...570) мм і з приводом 200 кВт.

До складу чистової групи входить:

- одна двохвалкова кліть - чистовий окалиноламах з приводом від електродвигуна потужністю 365 кВт і з робочими валяннями діаметром (620...580) мм.

- шість чотиривалкових клітей з приводом від електродвигуна потужністю 4000/5000 кВт і з робочими валяннями діаметром (620...580) мм.

Кінцеві ножиці (леткі) служать для обрізання переднього кінця смуги (гуркоту) з двигуном потужністю 300 кВт.

Весь прокат транспортується рольгангами:

- пічним діаметром, що складається з 94-х роликів, 400 мм, довжина бочки 1700 мм;

- перед кліттю ДУО - 7 роликів діаметром 350 мм, довжина бочки 2400 мм;

- перед кліттю №1 - 6 шт., перед кліттю №2 - 17 шт., перед кліттю №3 - 12 шт., перед кліттю №4 - 17 шт.;

- проміжним рольгангом - 41 шт., діаметром 300 мм, довжина бочки 1700/2400 мм, за кліттю №10 до моталки №1 - 186 шт.; за моталками №143

до моталки №4 - 208 шт діаметром 260 мм, довжина бочки 1730 мм (1830 мм.

Для виробництва гарячекатаних листів сляби з мартенівської, конверторної або електросталь поступає для нагріву в методичні печі №№1-5 - чотирьохсезонні, з двостороннім нагрівом, двоядні, з торцевою посадкою і видачею, рекуперативні.

Печі опалюються сумішшю доменного, коксового і природного газів калорійністю 1070 (1260 Ккал/нм³ (при t = 20 °С і тиску 760 мм рт. ст.).

Як паливоспалюючі пристрої застосовуються інжекційні пальники.

Сьогодні в такий спосіб прокатується до 100 тис. тонн рулонів в місяць. На трьох профілегибочних агрегатах виробляється близько 500 видів продукції з вуглецевої, низьколегованої і неіржавіючої сталі з товщиною аркуша від 1 мм до 7 мм і шириною розгортання профілю до 1450 мм.

1.1 Водоспоживання і водовідведення

Водоспоживання і водовідведення здійснюється за зворотно - прямоточною схемою.

На технологічні потреби використовується вода: питна, свіжа технічна, оборотна умовно-чиста, оборотна брудного циклу, вода повторного використання - після повітроохолоджувачів вода поступає на маслоохолоджувачі, а також після охолодження смуги вода поступає на моталки, на мийні агрегати, гідрозмив окалини.

Свіжа технічна вода йде на повітроохолоджувачі, методичні печі, охолодження валків стану, гідрозмив окалини.

Оборотна умовно-чиста вода йде на охолодження рольгангів, моталок, гартівний агрегат. Оборотна вода брудного циклу йде на гідрозмив окалини.

1.3 Схема водопостачання

Свіжа технічна вода поступає в цех з насосної станції листопрокатних цехів. Оборотна умовно-чиста (освітлена) вода поступає з оборотного циклу окалиновміщуючих стоків прокатних цехів.

Спорудження оборотного циклу окалиновміщуючих стоків прокатних цехів призначені для очищення від окалини і масел стічних вод, охолодження освітленої води.

Стоки від устаткування чистових і чорнових груп клітей цеху гарячого прокату тонкого листа, що забрудненні окалиною і маслом, через первинні відстійники прямують в насосні підкочування.

Стічні води з вмістом окалини до 300 мг/л і масел до 40 мг/л насосами ГРТ 1600/50 по двом шламопроводам $d = 1100$ мм поступають в горизонтальні відстійники для освітлення і уловлювання масел. Рівномірний розподіл стоків по секціях регулюється шиберами в лотках.

У секціях відстійника суспензії (окалина), що випали, збираються в заглиблені частини, а освітлена вода через переливний гребінь, з протилежного боку, поступає по лотках освітленої води в камеру гарячої води ємкістю 600 м³.

Для охолодження води циркуляційні насоси Д5400/30 подають освітлену воду з камери гарячої води на дві двосекційні вентиляторні градирні з вентиляторами ІВГ-70. З градирен охолоджена вода поступає в камеру холодної води ємкістю 1000 м³, звідки насосами 5000/50 по двох водоводах $d = 1100$ мм подають в цех гарячого плющення тонкого листа.

Окалину, що осіла, в прямках секцій горизонтальних відстійників після обезводнення відправляють автотранспортом на рудний двір.

Оборотна вода брудного циклу з цехових первинних відстійників поступає на оборотний цикл окалиновміщуючих стоків. Схема брудного оборотного циклу працює наступним чином: всі відпрацьовані води самопливом по лотках поступають на три горизонтальні відстійники, звідки

насосами 8 ГРТ частина води перекачується на оборотний цикл окалиновміщуючих стоків, частину води подають на змивання окалини, а частина самопливом через перелив скидається в шламонакопичувач балки Капустяна.

Окалину, що осіла в горизонтальних відстійниках, вивантажують в залізничні вагони і вивозять на рудний двір для утилізації.

1.4 Аналіз способів охолодження рулонів гарячекатанної смуги

Основними конструкційними матеріалами були і залишаються сталі і сплави, що диктується широкою гаммою їх фізичних і механічних властивостей, а так само розвиненою сировинною і технологічною базою виробництва.

Якість гарячекатаної листової сталі остаточно формується в процесі охолодження рулонів від температури змотування (550...950) °С до температур, що допускаються умовами подальших технологічних операцій, таких, як вантаження і транспортування рулонів (90 °С), подовжнє і поперечне різання на задані розміри (50 °С), труїння окалини (40 °С) [1].

Тривалість природного охолодження рулонів, розміщених на складі в (3...4) яруси, досягає (4...6) діб, що складає більше 90 % тривалості повного циклу їх виробництва на безперервному широкосмуговому стані. Таке охолодження вимагає наявність значних складських площ і, що саме головне, уповільнює оборотність оборотних коштів підприємства, погіршуючи економічні показники його роботи.

В процесі тривалого природного охолодження відбувається зміна стійких характеристик низковуглецевих і низьколегованих сталей, зростає нерівномірність механічних властивостей по довжині смуг. На внутрішніх витках рулонів, тривалий час що знаходяться в умовах високих температур, формується важкотравима окалина з переважаючим вмістом гематиту Fe_2O_3 і магнетиту Fe_3O_4 . Це погіршує якість гарячекатаних листів. Існуюча тенденція

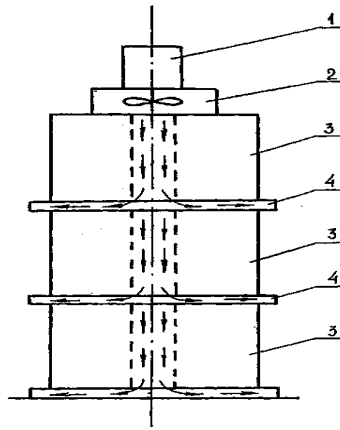
до збільшення маси гарячекатаних рулонів загострює перелічені проблеми. Слід зазначити, що інтенсивність охолодження залежить від розташування рулону, оскільки його теплопровідність в аксіальному напрямі на порядок вище, ніж в радіальному.

Для скорочення тривалості охолодження рулонів гарячекатаних смуг найчастіше використовують їх примусове прискорене охолодження наступних видів: повітряне, водоповітряне, водяне [1-3]. Різні охолоджувателі забезпечують різну інтенсивність охолодження. За даними досліджень [4], за інших рівних умов водяне охолодження в 2 рази ефективніше водоповітряного і в (4...5) разів повітряного.

1.4.1 Примусове охолодження рулонів повітрям

Для реалізації примусового повітряного охолодження струменя стислого повітря подають до торцевих поверхонь рулону, виробляючи відбір тепла. Схеми повітряного охолодження вертикально встановлених рулонів гарячекатаних смуг подібні до схем охолодження стопи рулонів холоднокатаних смуг в ковпакових печах для відпалу.

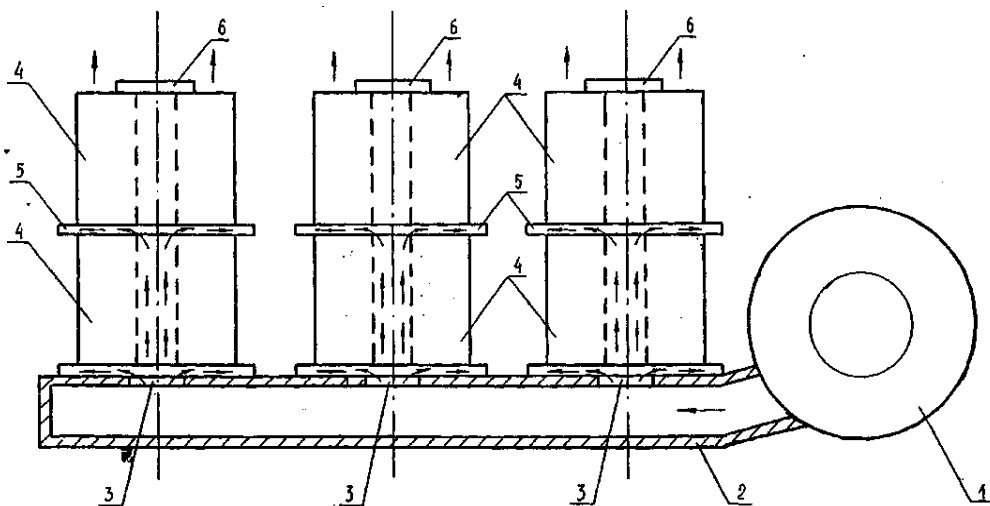
В системі з подачею повітря зверху (див. рис. 1.2) на стопу з трьох рулонів, які розділені конверторними кільцями, встановлюють електровентилятор, який нагнітає повітря в осевий канал рулонів. Оскільки в такої системі охолодження електровентилятор контактує з гарячим верхнім рулоном, часто він перегрівається та виходить з ладу. Крім того, наявність електропроводів у зоні праці мостових кранів та вплив високої температури рулонів знижують безпеку праці обслуговуючого персоналу.



1 – електродвигун; 2 – вентилятор; 3 – ролон, що охолоджується;
4 – конверторне кільце.

Рисунок 1.2 – Система охолодження з подачею повітря зверху
(стрілками показано напрям повітряних потоків)

Від перелічених недоліків вільна система охолодження з подачею повітря знизу (див. рис. 1.3) потужний електровентилятор подає повітря у повітровід з вікнами, над якими встановлені стопи ролонів з конверторними кільцями. Оскільки осеві канали верхніх ролонів закрити кришками, повітря для охолодження направляєється по торцевим поверхням ролонів стопи.

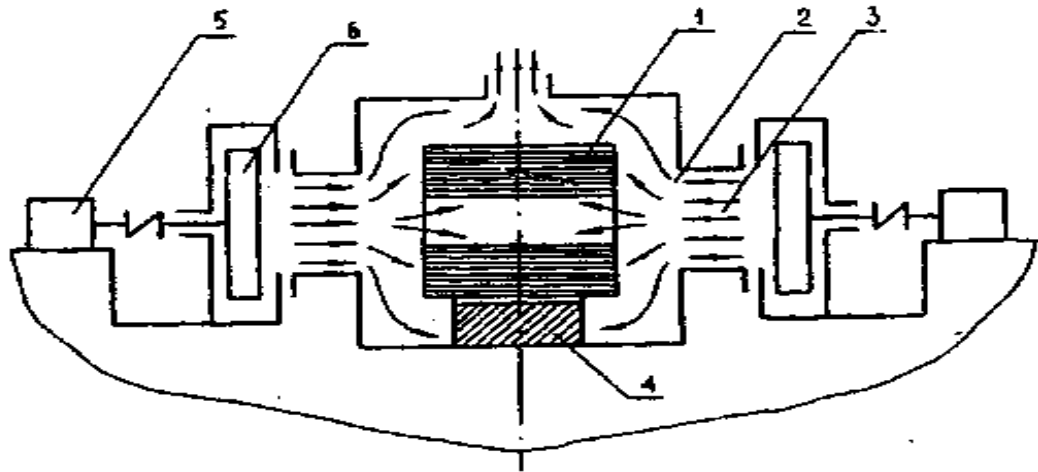


1 – повітродувка з електродвигуном; 2 – повітровід; 3 – отвір для
подачі повітря для охолодження; 4 – ролон, що охолоджується;
5 – конверторне кільце; 6 - кришка.

Рисунок 1.3 – Система охолодження з подачею повітря знизу

Для примусового повітряного охолодження рулону у горизонтальному положенні пропонується установка, яка наведена на рисунку 1.4. Згідно з даними досліджень примусове охолодження рулонів повітрям в (2...2,5) рази ефективніше природного.

Підвищити інтенсивність охолодження дозволить змішування потоків повітря двох напрямків: подовжнього і локального поперечного [6]. Охолодження рулонів здійснюється в тунелі з поперечними повітропроводами для подачі локальних потоків повітря. Уздовж тунелю за допомогою транспортера переміщують охолоджувані рулони, а тунель продувають за допомогою вентилятора подовжнім потоком повітря.



1 – рулон; 2 – стэнд; 3 – повітряний потік; 4 – ложемент;
5 – електродвигун; 6 – вентилятор.

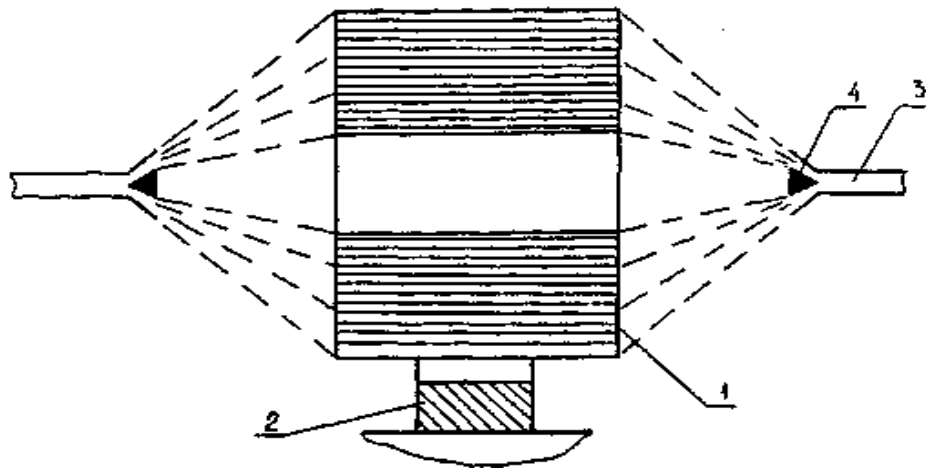
Рисунок 1.4 – Схема установки для прискореного повітряного охолодження у горизонтальному положенні

До недоліків всіх систем примусового повітряного охолодження рулонів слід віднести підвищення собівартості виробництва із-за збільшення витрат електроенергії на (5...10) кВт·год/т прокату. Крім того, обдування рулонів повітрям приводить до збільшення запиленості на ділянці охолодження, забруднення приміщення і технологічного обладнання.

1.4.2 Водоповітряне охолодження рулонів

Ефективність примусового охолодження рулонів може бути підвищена подачею в повітря, що охолоджує, мілкодисперсної вологи. Коефіцієнт тепловіддачі при цьому зростає в (2...3) рази [3]. Подача води в струмінь повітря також знижує його температуру, в результаті тривалість охолодження рулону скорочується в (3...3,5) рази у порівнянні з природним охолодженням при витраті води $0,33 \text{ м}^3/\text{год}$ [4].

Водоповітряному охолодженню піддають рулони як в горизонтальному, так і у вертикальному положенні. Мілкодисперсну аерозоль отримують шляхом розпилу води в струмені стислого повітря [5]. Установа, яка наведена на рисунку 1.5 дозволила охолодити рулони полос різної товщини з углеродистих та низьколегованих сталей з $650 \text{ }^\circ\text{C}$ до $50 \text{ }^\circ\text{C}$ за (10...12) годин. Зменшення витрат води призвело до збільшення періоду охолодження до (12...13) год.



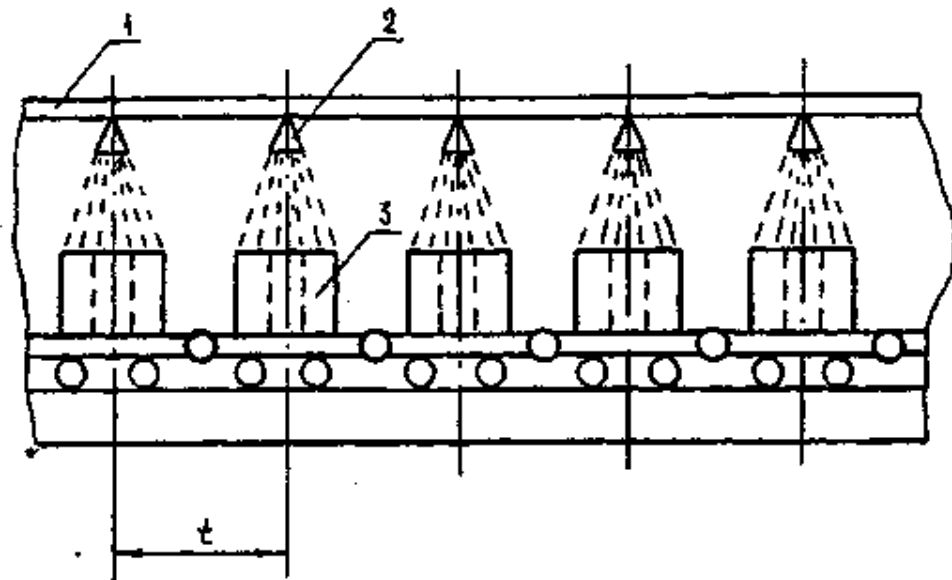
1 – рулон; 2 – ложемент; 3 – патрубок підводу водоповітряної суміші;
4 – форсунка.

Рисунок 1.5 – Схема установки водоповітряного охолодження

Водоповітряне охолодження рулонів забезпечує вирівнювання механічних властивостей по довжині смуг і підвищення міцностних

характеристик сталі. Тимчасовий опір в середній частині сталевій смуги зростає на $(10...40)$ Н/мм², а кількість окалини на поверхні зменшується на $(16...18)$ % [5]. Для зменшення утворення окалини на краях смуг до торцевих поверхонь рулонів з температурою змотування $(650...750)$ °С подають водоповітряну суміш [7].

Водоповітряне охолодження рулонів можна здійснювати як в процесі їх транспортування на відвідному рольганзі, так і на спеціалізованій ділянці. У першому випадку над рольгангом розташовують форсунки з постійним кроком (див. рис. 1.6). Витрата води на 1 т смуги складає $(0,1...0,3)$ м³/год, повітря $(4...10)$ м³/год при тиску $(150...200)$ кПа. При такому охолодженні $(50...80)$ % води переходить в пару.



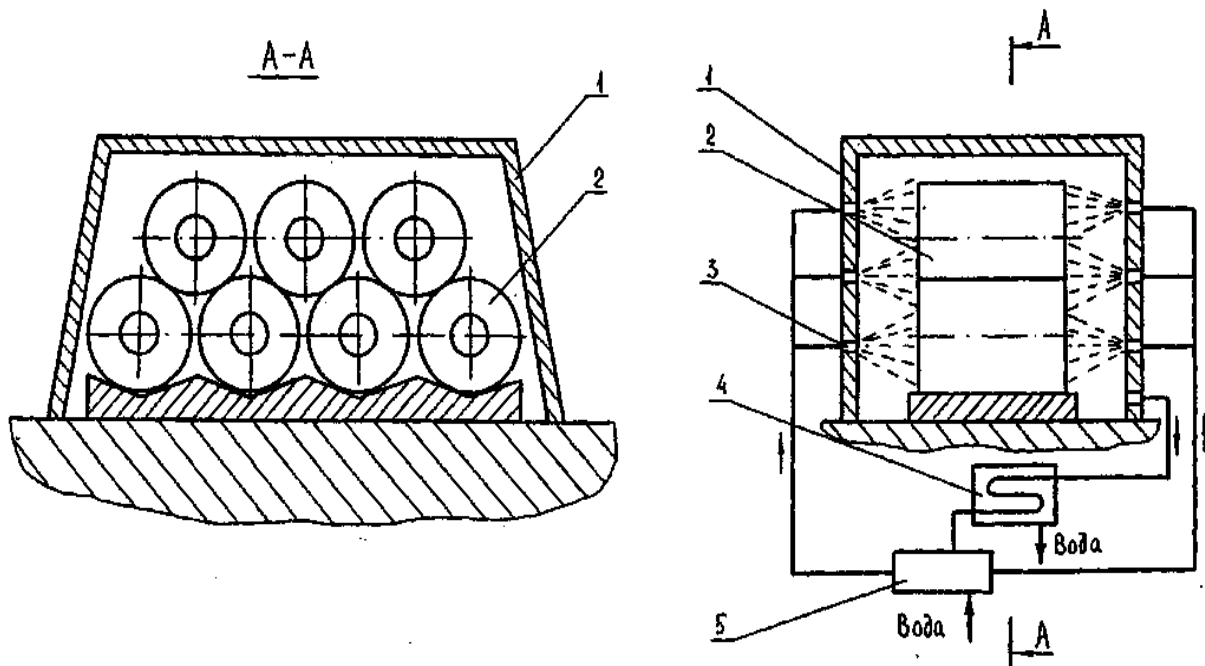
1 – водоповітряний колектор; 2 – форсунка; 3 – рулон; t – шаг переміщення транспорту.

Рисунок 1.6 – Прискорене водоповітряне охолодження рулонів на відвідному рольганзі

Рольганг, що відводить, працює в кроковому режимі, переміщаючи кожен з рулонів за один крок на відстань t послідовно від першої форсунки до останньої. До кінця періоду примусового водоповітряного охолодження середньомасова температура рулону знижується з $(550...730)$ до $(80...150)$ °С,

що істотно скорочує тривалість охолодження рулонів на складі в порівнянні з їх природним охолодженням.

У другому випадку на складі рулонів передбачають спеціальну установку прискореного охолодження (див. рис. 1.7). Охолоджені рулони (до 12 штук - одна конвертерна плавка) розташовують горизонтально в два яруси на ложементях, накривають переносним ковпаком і ущільнюють місце роз'єму. Уздовж рядів рулонів, напроти їх торців розташовані пневмофорсунки, що подають водоповітряну суміш. Витрата води на 1 т смуги складає $0,3 \text{ м}^3/\text{год}$ при тиску 300 кПа; повітря - $10 \text{ м}^3/\text{год}$ при тиску 200 кПа. Установка забезпечує охолодження рулонів масою до 54 т за (16...20) годин від $600 \text{ }^\circ\text{C}$ до $100 \text{ }^\circ\text{C}$.



1 – переносна камера; 2 – рулон; 3 – пневмофорсунка;
4 – теплообмінник; 5 – турбоповітродувка.

Рисунок 1.7 – Установка для прискореного охолодження рулонів на складі

Повітряна система установки працює в замкнутому циклі. Пароповітряна суміш, що утворюється при охолодженні рулонів,

пропускається через теплообмінник, і після видалення конденсату повітря знов подається до пневмофорсунок.

Аналіз існуючих систем водоповітряного охолодження показує, що вони складніше повітряних, дорожче в експлуатації, вимагають вирішення питань ізоляції і видалення пари і конденсату.

1.4.3 Примусове охолодження рулонів водою

Серед використовуваних в промисловості способів прискореного охолодження рулонів найбільш ефективним є їх охолодження водою. За даними досліджень [4], охолодження рулонів водою в 20 разів ефективніше, ніж природне на повітрі.

Охолодження водою може бути здійснене подачею води, що охолоджує, до торців рулону у вигляді струменів або крапель, а також зануренням рулону у воду.

Примусове охолодження струменями води скорочує у декілька разів тривалість охолодження і забезпечує стабілізацію механічних властивостей по довжині смуг [8-10]. Охолоджені рулони укладають у горизонтальному положенні в два ряди, потім до торців рулонів з форсунок під заданим кутом подають воду, що охолоджує. Подача струменів води до відкритих торців рулону супроводиться її інтенсивним кипінням і розбризкуванням з утворенням великої кількості пари, що вимагає локалізації ділянки охолодження, вживання потужної витяжної системи паровидалення.

Виключити паротворення і розбризкування гарячої води дозволяє повне занурення охолоджуваних рулонів в басейн з водою на деяку глибину під рівень. Процес охолодження затоплених рулонів подібний до процесів, що протікають при гартуванні механічних деталей у воді або маслі. На гарячих поверхнях рулону відбувається кипіння води з інтенсивним паротворенням. Пара, що утворюється охолоджується довколишньою водою, конденсується і не покидає басейну. У міру охолодження рулону вода

в басейні поступово нагрівається, тому з метою усунення паротворення з дзеркала басейну нагріту воду необхідно зливати з одночасним додаванням холодної води.

Така система охолодження має значні недоліки, головними з яких є її значні розміри, великі об'єми води, що охолоджує, складна система її циркуляції, охолодження, очищення, труднощі у визначенні середньомасової температури рулонів. В даний час перевага віддається пристроям, в яких воду, що охолоджує, подають переважно до торцевих поверхонь рулонів.

Простим і ефективним засобом є стенд для охолодження рулонів гарячекатаних смуг (див. рис. 1.8).

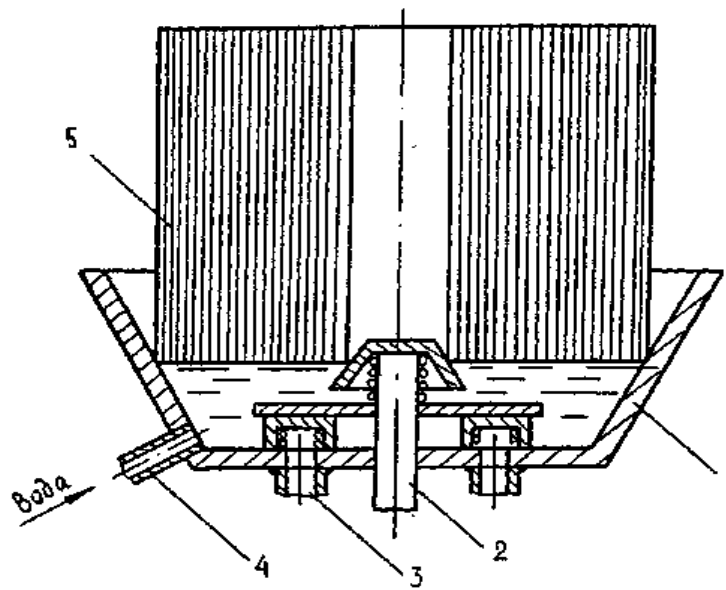
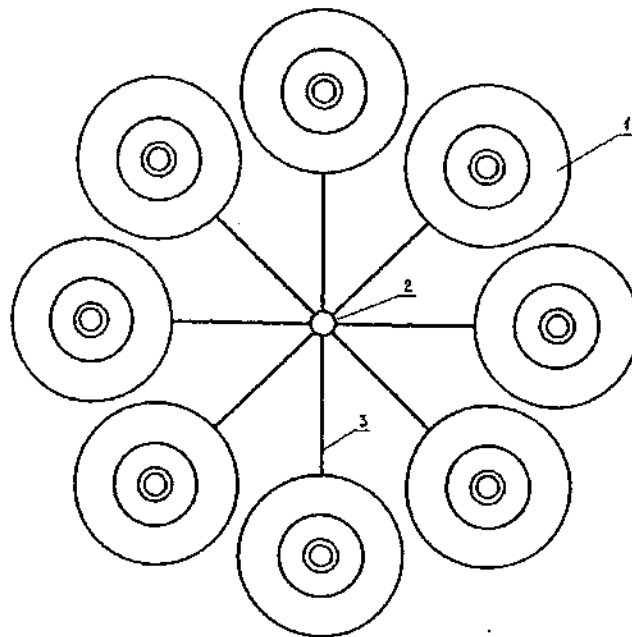


Рисунок 1.8 – Стенд для охолодження рулонів

Стенд представляє собою ємність 1 у формі усіченого конуса, на дні якої коаксіально закріплений підпружинений запорний клапан 2 також у формі усіченого конуса [11]. Ємність забезпечена патрубками зливу 3 і підвода 4 води, що охолоджує. Рулон 5 за допомогою крану опускають всередину ємності. При цьому замочний клапан перекриває внутрішній отвір рулону, а рулон своїми зовнішніми витками спирається на стінки ємності.

Нижню частину ємкості заповнюють водою. Пара, що утворюється при кипінні води, під надлишковим тиском проходить між витками рулону, інтенсивно відбираючи і виносячи тепло з його внутрішньої частини. Випар з поверхні води в ємкості практично відсутній. Такий пристрій дозволяє охолодити рулон масою до 30 т за (22...24) годин до 40 °С.

Для забезпечення прискореного охолодження рулонів в промислових масштабах була розроблена і виготовлена ділянка прискореного охолодження, що складається з трьох автономних секцій. Кожна секція (див. рис. 1.9) утворена встановленими по колу вісьма стендами, представленими на рисунку 1.8, для одночасного охолодження рулонів двох конвертерних плавок. Секції мають централизовані системи підведення і відведення охолоджуючої води, керовані за допомогою автоматизованого програматору. Ділянка забезпечує одночасне охолодження 24 рулонів.



1 – стенд для прискореного охолодження; 2 – колектор підводу води до групи стендів; 3 – труба для підводу води до стенду.

Рисунок 1.9 – Схема розташування стендів для охолодження рулонів в секції прискореного охолодження

В результаті експлуатації пристроїв вимушеного охолодження рулонів водою установлено наступне: хоча фазові перетворення в гарячекатаних смугах з вуглецевих і низьколегованих сталей завершуються при температурах вище за температуру змотування, процеси зростання ферритного зерна, перетворення перлиту з пластинчастого в зернистий, дифузійні процеси і фазові для поста перетворення продовжуються після змотування смуги в рулон. Оскільки при мимовільному охолодженні в перших (30...120) хвилин швидкість охолодження зовнішніх і внутрішніх витків складає (45...260) °С/год, а середніх (5...40) °С/год, параметри мікроструктури і механічні властивості по довжині смуги формуються різними. Так, для низьковуглецевих сталей значення тимчасового опору можуть відрізнятися по довжині смуги на (10...30) Н/мм².

Прискорене охолодження рулонів водою скорочує тривалість знаходження внутрішніх витків рулону при високих температурах, стабілізуючи тим самим механічні властивості по довжині гарячекатаних смуг і знижуючи їх коливання в (2...3) рази.

Якщо на загальний рівень міцностних властивостей низьковуглецевих сталей прискорене охолодження рулонів водою впливає мало (наприклад, межа текучості сталі 08Ю знизилася на (8...20) Н/мм² [12]), то властивості низьколегованих сталей значно покращуються. Так, при природному охолодженні на повітрі рулонів смуг завтовшки 8 мм із сталі 17ГС, призначених для виготовлення труб великого діаметру, тимчасовий опір в середній частині смуги складає 500 Н/мм² при допустимому значенні не менше 520 Н/мм². Отже, для забезпечення необхідного рівня механічних властивостей ці смуги необхідно додатково піддавати нормалізації. Прискорене охолодження рулонів смуг із сталі 17ГС водою дозволило підвищити тимчасовий опір у середній частині до 540 Н/мм² і виключити нормалізацію [13, 14].

Прискорене охолодження рулонів водою визначає формування шару окалини. Істотне скорочення тривалості знаходження сталі при високих

температурах сприяє зниженню маси окалини (на 5...10) %. Наявність у складі окалини легкотравимого вюстити, металевого заліза, а також шарувате розташування оксидів дозволяють на (30...35) % збільшити швидкість травління та підвищити продуктивність безперервного травильного агрегату і поліпшити якість обробки поверхні смуг [15].

З характером структури і травимости окалини пов'язана ще одна перевага, яка може забезпечити прискорене охолодження рулонів водою. Відомо, що збільшення температури змотування смуг з кремнійвмісних електротехнічних сталей забезпечує зменшення магнітних втрат. Проте при високих температурах змотування в охолоджуваному на повітрі рулоні формується шар труднотравимої кремнійвмісної окалини, наявність якої погіршує якість готового прокату. З цієї причини температуру змотування доводиться знижувати, свідомо допускаючи збільшення магнітних втрат. Вирішити дане протиріччя дозволяє прискорене охолодження рулонів водою. В цьому випадку смуги з кремнійвмісної сталі змотують в рулони при підвищеній до (870...900) °С температурі, яка забезпечує зниження магнітних втрат, а подальше прискорене охолодження рулону виключає освіту в окалинні оксидів кремнію (шпинели) і покращує її травимість [16,17].

Недолік системи охолодження з зануренням одного з торців рулону у воду полягає в тому, що окалина на ділянці смуги, яка контактувала з водою, має темніший відтінок, що погіршує товарний вигляд продукції. Проте це не має жодного значення для смуг, що піддаються надалі труїть.

Слід зазначити, що при будь-якому варіанті використання технології прискореного охолодження гарячекатаних смуг в рулонах з'являється реальна можливість утилізації відводимого тепла. Так, при охолодженні 1 т металу в інтервалі від 500 °С до 100 °С виділяється 356 МДж тепла і, якщо процес реалізується шляхом перекладу води в пару, це рівнозначно економії 12,1 кг умовного палива [17,18].

1.5 Конструкції пристроїв для охолодження

Більше 90 % часу перебування металу в цеху гарячого плющення займає охолодження рулону. Прискорене охолодження може застосовуватися для низковуглецевих сталей. В цьому випадку воно забезпечує радикальне скорочення часу перебування металу в цеху з (4...6) діб до (16...24) годин. Для низьколегованих марок (наприклад, трубних сталей), прискорене охолодження, крім того, забезпечує вирівнювання механічних властивостей по довжині смуги, роблячи непотрібною поаркушеву термообробку. Сповільнене охолодження застосовується для рулонів з вуглецевих і легованих сталей, схильних до зміцнення при охолодженні на повітрі (наприклад, 12ХН, 12ХМ, 12Х1МФ, 20ХГСА, 23ХГ2АФР, 30ХГСА, 35ХГСА, 40ХС2Н2М, 42ХСМНМА, 43ХСНМА, 45ХНМФА, 45Х2НМФБА, 50ХГФА, 65Г, СТМ7, Ц85). Після листового плющення такі марки сталі потребують відпалу. Після плющення на НШПС і змотуваннях в рулон частина смуги з середини рулону володіє необхідними властивостями і без відпалу, але периферійні швидко охоложені витки необхідно відпалювати. Проте периферійні витки можуть бути термооброблені і за рахунок тепла самого рулону при приміщенні його в термостат. Традиційні термостати з рівномірним футеруванням характеризуються значним часом термостатування (більше 2 діб) і низьким виходом придатного (не володіють необхідними механічними властивостями із-за самозакалювання шість і більш зовнішніх витків). Занурення гарячого рулону в термостат з диференційованим футеруванням, який розроблений для охолодження саме рулонів, дозволяє при скороченні часу термостатування до (19...24) годин скоротити кількість некондиційних витків до одного [19-22].

Відомі ще такі способи виробництва гарячекатаних смуг по яких:

– смуги після гарячого плющення і охолодження на відводному рольганзі, змотують на моталках ШСГП в рулони, які потім охолоджують на

складі продукції перед подальшою обробкою. При цьому температура змотування смуг різних марок сталей і товщина неоднакова і обумовлене вимогами набуття необхідних механічних властивостей і мікроструктури готового прокату. Недолік даного способу полягає в тому, що для забезпечення необхідного комплексу механічних властивостей готового прокату температура змотування смуг в рулони часто має низькі значення (550...600) °С, що наводить до підвищених навантажень на устаткування ШСГП, витівку з буд його і як наслідок зниження продуктивності процесу.

– температура змотування смуг в рулони встановлюють залежно від марки сталі. Недолік відомого способу полягає в тому, що для набуття необхідних властивостей готового металу він не враховує подальше охолодження рулонів, при якому механічні властивості прокату можуть змінюватися.

– охолодження смуг по їх довжині неоднаково і встановлюється залежно від вуглецевого еквіваленту і температури змотування смуг. Недолік відомого способу полягає в тому, що із-за неоднакових умов плющення і змотування смуги по її довжині знижується продуктивність процесу здобуття готової продукції. Найбільш близьким по технічному єству і результату, що досягається, до того, що заявляється є відомий спосіб виробництва гарячекатаних смуг, що включає гаряче плющення, охолодження смуг, змотування їх в рулони і охолодження рулонів. Недолік відомого способу полягає в тому, що він регламентує температуру змотування по довжині смуг, лише в рамках потрібної ГОСТ або ТУ температури змотування, яке, як вказувалося вище, може бути низькою для забезпечення необхідної якості металу.

– смуги, прокатані на ШСГП, змотуються в рулони при певній температурі змотування. Ця температура змотування визначається умовами набуття необхідних механічних властивостей і мікроструктури прокату в готовому стані. Для здобуття високого рівня механічних властивостей сталі (відповідно до призначення металу) температуру змотування смуг після

гарячого плющення призначають низькою (550...600) °С Така низька температура змотування смуг наводить до того, що при плющенні їх в клітках ШСГП значно зростають навантаження на устаткування. Зусилля плющення складає максимальну величину виходячи з умов максимальної допустимої контактної напруги, що діє на валяння прокатних станів. Робота ШСГП в такому тривалому режимі наводить до передчасного зношування валків, їх поломки, що знижує продуктивність процесу. Після змотування смуг в рулони вони остигають перед подальшою межею. Для прискорення процесу охолодження рулонів, зниження площ складських приміщень застосовують їх прискорене охолодження (водою, водоповітряною сумішшю і ін.). Це може привести до того, що механічні властивості стали, прокатою і змотаною при знижених температурах за рахунок збільшення їх після прискореного охолодження, можуть вийти за верхню межу вимог, відповідних ГОСТ або ТУ, що наводить до відбракування металу по відповідному призначенню і, отже, зниженню продуктивності процесу. Запропонований спосіб при його використанні в листопрокатному виробництві дозволить забезпечити наступні техніко-економічні показники: підвищити термін служби устаткування; збільшити продуктивність процесу за рахунок виключення простоїв на заміну устаткування [24-26].

Відомий пристрій для охолодження рулонів гарячекатаних смуг, що включає стелаж для установки рулонів в стопах (аналог). Як стелаж використовуються сляби, укладені на вільних площах в прокатному цеху або за його межами. Охолодження здійснюється природним чином довколишнім повітрям. Недоліками аналога є тривалі терміни і нерівномірність охолодження рулонів по їх перетинах і об'ємі, що вимагає наявність великих вільних виробничих площ, стримує виробництво, знижує продуктивність стану гарячого плющення, викликає погіршення механічних властивостей і якості стали або інших матеріалів, з яких отримані рулони.

Найбільш близьким технічним рішенням (прототипом) є пристрій для охолодження рулонів гарячекатаних смуг, що включає стелаж, на якому в

стопах у вертикальному положенні встановлені рулони, і осьовий вентилятор для зовнішнього обдування і охолодження рулонів. При використанні такого пристрою інтенсивність охолодження рулонів покращується і його можна здійснювати на менших, хоча і чималих виробничих площах. Проте в цьому випадку в ще більшій мірі виникає нерівномірність охолодження рулонів по перетинах і об'ємі і відповідно погіршується якість металу в рулонах. Особливо негативно нерівномірність охолодження рулонів впливає на якість холоднокатаних смуг, що отримуються при подальшому холодному плющенні гарячекатаних смуг з охолоджуваних рулонів. Холодне плющення повинне здійснюватися після охолодження гарячекатаних смуг з температурою не більш, ніж 100 °С.

1.6 Висновки за розділом

Із-за нерівномірності охолодження внутрішні витки смуги в рулоні мають вищу температуру, що після розмотування рулону при подальшому холодному плющенні, що викликає ламкість смуги, утворення поверхневих тріщин, зниження якості, збільшення браку і зменшення виходу придатного металу.

Метою роботи є підвищення якості горяче- і холоднокатаних смуг за рахунок забезпечення рівномірності їх охолодження в рулонах і поліпшення механічних властивостей смуги, а також зменшення виробничих площ, вартості споруджуваних цехів і підвищення продуктивності станів гарячого плющення за рахунок підвищення інтенсивності охолодження рулонів гарячекатаних смуг.

У зарубіжній практиці при виробництві гарячекатаних широких смуг застосовують прискорене охолодження на відводному рольганзі, перед змотуванням смуги в рулон. Таке регламентоване прискорене охолодження після завершення гарячої деформації все частіше застосовують для

виготовлення листового, а також сортового і фасонного прокату з покращеним комплексом експлуатаційних властивостей.

Один з перспективних напрямів в розвитку технології прискореного охолодження смуг полягає у вживанні пристроїв ванного або басейного типів. Тому, ще однією задачею кваліфікаційної роботи є аналіз ефективності повітряного та водяного охолодження рулонів, а також розробка прискореного способу охолодження. Також важливим завданням є оцінка можливості використання теплоти при охолодженні рулонів на потреби гарячого водопостачання Заводського району міста Запоріжжя.

В результаті аналізу технологічного процесу плющення тонкого листа встановлено:

1. Необхідність прискореного охолодження гарячекатаних смуг, що дозволяє покращити якість виробляемого металу, збільшити вихід придатного та зменшити кількість відходів.

2. Використання водяного способу прискореного охолодження є оптимальним з точки зору енерговитрат та утворення окалини.

3. Можливість зменшення собівартості технологічного процесу прокатки тонкого листа за рахунок утилізації теплової енергії яка утворюється при прискореному охолодженні рулонів.

Для реалізації встановлених можливостей оптимізації процесу охолодження гарячекатаних смуг необхідно :

1. Виконати теплотехнічний розрахунок охолодження рулонів.

2. Обґрунтувати вибір технологічного обладнання для охолодження рулонів.

3. Дослідити можливість використання нагрітої води, яка утворюється при охолодженні рулонів

2 АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРИСКОРЕНОГО ОХОЛОДЖЕННЯ ГАРЯЧЕКАТАНИХ РУЛОНІВ

2.1 Сучасна кількість гарячекатаних рулонів, фактичне їх охолодження на складі

На сьогоднішній день в ЦГПТЛ ВАТ МК «Запоріжсталь» використовується природне охолодження рулонів. Кількість рулонів складає – 259 одиниць за добу. Маса кожного рулону близько 16 т. Початкова температура рулонів 500 °С.

2.2 Теплотехнічний розрахунок охолодження рулонів

Визначення коефіцієнту тепловіддачі від повітря до рулону, $\alpha_{\text{пов}}$, Вт/(м²·К)

Так як на даний час рулони охолоджуються безпосередньо на повітрі, тому коефіцієнт тепловіддачі будемо визначати з критеріального рівняння для вільної конвекції біля вертикально розташованої труби [27-30]. Для цього необхідно розрахувати $(GrPr)_{жс}$, що визначить режим руху повітря.

Добуток $(GrPr)_{жс}$

$$GrPr = \frac{g \cdot \beta \cdot l^3 \cdot \Delta t}{\nu^2} \cdot Pr, \quad (2.1)$$

де g – прискорення вільного падіння, м/с²;

β – температурний коефіцієнт об'ємного розширення, 1/К;

l – характерний геометричний розмір (висота рулону), м;

ν – коефіцієнт кінематичної в'язкості, м²/с;

Δt – температурний перепад, К.

Визначальною температурою є температура повітря

$$GrPr = \frac{9,81 \cdot \frac{1}{293} \cdot 1,5^3 \cdot (500 - 20)}{(15,06 \cdot 10^{-6})^2} \cdot 0,703 = 1,68 \cdot 10^{11}.$$

При значеннях $(GrPr)_{жс} > 10^9$ на вертикальних поверхнях утворюється на початковій ділянці ламінарний межовий слой, який потім переходить у турбулентний. Межою між цими шарами є розріз на висоті $H_{кр}$.

Межа між ламінарним і турбулентним режимами, $H_{кр}$, м

$$H_{кр} = 10^3 [va / (g\beta\Delta t)]_{жс}^{1/3}. \quad (2.2)$$

$$H_{кр} = 10^3 \left[15,06 \cdot 10^{-6} \cdot 21,4 \cdot 10^{-6} / \left(9,81 \cdot \frac{1}{293} \cdot (500 - 20) \right) \right]^{1/3} = 0,3.$$

Тоді тепловіддача на ламінарній ділянці до висоти $H_{кр}$ розраховуватиметься за формулою (2.3), а на турбулентній ділянці висотою $H - H_{кр}$ (де H – повна висота рулона) визначатиметься за формулою (2.4)

$$\overline{Nu}_{жс}^l = 0,75 (GrPr)_{жс}^{0,25} (Pr_{жс} / Pr_c)^{0,25}, \quad (2.3)$$

$$\overline{Nu}_{жс}^m = 0,15 (GrPr)_{жс}^{0,33} (Pr_{жс} / Pr_c)^{0,25}. \quad (2.4)$$

Добуток $(GrPr)_{жс}$ для ламінарного та турбулентного режимів

$$GrPr^l = \frac{g \cdot \beta \cdot H_{кр}^3 \cdot \Delta t}{\nu^2} \cdot Pr,$$

$$GrPr^l = \frac{9,81 \cdot \frac{1}{293} \cdot 0,3^3 \cdot (500 - 20)}{(15,06 \cdot 10^{-6})^2} \cdot 0,703 = 1,34 \cdot 10^9;$$

$$GrPr^m = \frac{g \cdot \beta \cdot (H - H_{кр}^3) \cdot \Delta t}{\nu^2} \cdot Pr,$$

$$GrPr^m = \frac{9,81 \cdot \frac{1}{293} \cdot (1,5 - 0,3)^3 \cdot (500 - 20)}{(15,06 \cdot 10^{-6})^2} \cdot 0,703 = 8,6 \cdot 10^{10}.$$

Виконаємо розрахунки критеріїв за формулами (2.3) та (2.4):

$$\overline{Nu}_{жс}^l = 0,75 (GrPr^l)_{жс}^{0,25} (Pr_{жс} / Pr_c)^{0,25},$$

$$\overline{Nu}_{жс}^l = 0,75 \cdot (1,34 \cdot 10^9)^{0,25} \cdot 1 = 143;$$

$$\overline{Nu}_{жс}^m = 0,15 (GrPr^m)_{жс}^{0,33} (Pr_{жс} / Pr_c)^{0,25},$$

$$\overline{Nu}_{жс}^m = 0,15 (8,6 \cdot 10^{10})^{0,33} \cdot 1 = 608,9.$$

Середній за висотою коефіцієнт тепловіддачі при наявності ламінарній та турбулентній ділянці межового слою на вертикальній поверхні

$$\overline{\alpha} = \left[\overline{\alpha}_l H_{кр} + \overline{\alpha}_m (H - H_{кр}) \right] H^{-1}, \quad (2.5)$$

де $\overline{\alpha}_l$ и $\overline{\alpha}_m$ — середні коефіцієнти тепловіддачі на ламінарній та турбулентній ділянці, Вт/(м²·К):

$$\overline{\alpha}_l = \frac{\overline{Nu}_{жс} \cdot \lambda}{H_{кр}},$$

$$\overline{\alpha}_l = \frac{143 \cdot 2,59 \cdot 10^{-2}}{0,3} = 12,3;$$

$$\overline{\alpha}_m = \frac{\overline{Nu}_{жс}^m \cdot \lambda}{H - H_{кр}},$$

$$\overline{\alpha}_m = \frac{608,9 \cdot 2,59 \cdot 10^{-2}}{1,5 - 0,3} = 13,14.$$

Тоді середній коефіцієнт тепловіддачі від повітря до рулону, Вт/(м²·К)

$$\overline{\alpha}_{нов} = [12,3 \cdot 0,3 + 13,14(1,5 - 0,3)] \cdot 1,5^{-1} = 12,97.$$

У попередніх розрахунках було визначено коефіцієнт тепловіддачі при охолодженні рулонів на відкритому повітрі. Даний пункт розрахунку передбачає розрахунок цього ж коефіцієнту, але для умов прискореного охолодження рулонів водою.

Коефіцієнт тепловіддачі $\alpha_{вод}$, Вт/(м²·К), визначається з формули

$$Nu_l = CRa_l^n, \quad (2.6)$$

$$\text{де } Nu_l = \frac{\alpha l}{\lambda_n}.$$

Визначальний розмір l , м

$$l = 2\pi \sqrt{\frac{\sigma}{g(\rho_{жс} - \rho_n)}},$$

де σ - поверхневе на тяжіння рідини (визначається за t_s), Н/м;

$\rho_{ж}$ - густина рідини, кг/м³;

$\rho_{п}$ - густина пари, кг/м³;

$$l = 2 \cdot 3.14 \sqrt{\frac{588.6 \cdot 10^{-4}}{9.81 \cdot (958.4 - 0.598)}} = 0.016.$$

Число Релея

$$Ra_l = \frac{gl^3}{\nu_n a_n} \frac{\rho_{ж} - \rho_{п}}{\rho_{п}} \left(\frac{r}{\Delta t_{c_{pn}}} + \frac{1}{2} \right),$$

$$Ra_l = \frac{9.81 \cdot 0.016^3}{20.02 \cdot 10^{-6} \cdot 18.58 \cdot 10^{-6}} \cdot \frac{958.4 - 0.598}{0.598} \left(\frac{2256.8}{400 \cdot 2.135} + \frac{1}{2} \right) = 0.5 \cdot 10^9.$$

Значення C та n для вертикальної поверхні

$$C = 0.32 \left(\frac{r}{\Delta t_{c_{pn}}} + \frac{1}{2} \right)^{-1/3} \left(\frac{T_s}{T_c} \right)^{0.5}, \quad n=1/3,$$

де t_s - визначальна температура.

$$C = 0.32 \left(\frac{2256.8}{400 \cdot 2.135} + \frac{1}{2} \right)^{-1/3} \left(\frac{373}{773_c} \right)^{0.5} = 0.15.$$

Критеріальне рівняння тепловіддачі

$$Nu_l = 0.15 \cdot (0.5 \cdot 10^9)^{1/3} = 114.5.$$

Коефіцієнт тепловіддачі від рулону до води, $\alpha_{\text{вод}}$, Вт/(м²·К)

$$\alpha_{\text{вод}} = \frac{Nu \cdot \lambda_n}{l},$$

$$\alpha_{\text{вод}} = \frac{114,5 \cdot 2,372 \cdot 10^{-2}}{0,016} = 169,7.$$

Кількість відданої тілом теплоти Q_τ , Дж за час τ в процесі охолодження

$$Q_\tau = Q_0(1 - \bar{\theta}), \quad (2.7)$$

де Q_0 — кількість теплоти, переданої за час повного охолодження, Дж;

$\bar{\theta}$ - середня за об'ємом безрозмірна температура в момент часу τ .

Для циліндру радіусом r_0 и довжиною l теплота, віддана за час повного охолодження, дорівнює

$$Q_0 = \pi r_0^2 l \rho c (t_0 - t_{\text{жс}}). \quad (2.8)$$

Для випадку охолодження рулонів на відкритому повітрі Q_0 , Дж

$$Q_0 = 3,14 \cdot 0,81^2 \cdot 1,68 \cdot 7900 \cdot 420 \cdot (500 - 20) = 1378055140 .$$

Для випадку охолодження рулонів у воді, Q_0 , Дж

$$Q_0 = 3,14 \cdot 0,81^2 \cdot 1,68 \cdot 7900 \cdot 420 \cdot (500 - 35) = 1334990917 .$$

Середня безрозмірна температура циліндра кінцевої довжини

$$\bar{\theta} = \bar{\theta}_s \bar{\theta}_r = f_1(Bi_s, Fo_s) f_2(Bi_r, Fo_r). \quad (2.9)$$

Температури у середині та на поверхні рулону при охолодженні у середовищі з постійною температурою можливо визначити з графіків $\theta_{x=0}=f_1(Bi, Fo)$ и $\theta_{x=\delta}=f_2(Bi, Fo)$.

Вихідні дані до повітряного охолодження рулонів представлені у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Вихідні дані до повітряного охолодження рулонів

Параметр	Одиниці вимірювання	Значення
Щільність, ρ	кг/м ³	7900
Питома теплоємність, c	кДж/(кг·К)	420
Коефіцієнт теплопровідності, λ	Вт/(м·К)	45
Довжина рулону, L	м	1,68
Діаметр рулону, d	м	0,81
Коефіцієнт тепловіддачі повітрю, $\alpha_{\text{пов}}$	Вт/(м ² ·К)	13
Коефіцієнт тепловіддачі води, $\alpha_{\text{води}}$	Вт/(м ² ·К)	170
Початкова температура рулону, t_0	°С	500
Початкова температура повітря, $t_{\text{пов}}$	°С	20
Температура води, $t_{\text{води}}$	°С	35
Кінцева температура повітря, $t_{\text{пов}}$	°С	90

В даному випадку Bi, Fo для пластини при повітряному охолодженні:

$$Bi_{\delta} = \frac{\alpha \delta}{\lambda} = \frac{13 \cdot 0,84}{45} = 0,24,$$

$$Fo_{\delta} = \frac{a \tau}{\delta^2} = \frac{0,000014 \cdot 3600}{(0,84)^2} = 0,07.$$

В розрахунках задаємо різний час охолодження і для цих значень часу розрахуємо критерій Fo . При цих значеннях критеріїв Bi та Fo по графіках знаходимо $\theta_{x=0}$ та $\theta_{x=\delta}$. Данні заносимо до таблиці 2.2.

для циліндру при повітряному охолодженні:

$$Bi_r = \frac{\alpha r}{\lambda} = \frac{13 \cdot 0,405}{45} = 0,12,$$

$$Fo_r = \frac{a\tau}{r^2} = \frac{0,000014 \cdot 3600}{(0,405)^2} = 0,3.$$

Результати заносимо до таблиці 2.2.

Безрозмірна температура

$$\theta = \frac{t - t_{жс}}{t_0 - t_{жс}}.$$

Температура у середині рулону у перший час охолодження на відкритому повітрі, °С

$$t_{x=0} = t_{жс} + \theta_{x=0} \cdot \theta_{r=0} \cdot (t_0 - t_{жс}) = 20 + 0,99 \cdot (500 - 20) = 490.$$

та на поверхні рулону

$$t_{x=\delta} = t_{жс} + \theta_{x=\delta} \cdot \theta_{r=r_0} (t_0 - t_{жс}) = 20 + 0,98 \cdot (500 - 20) = 481.$$

Зміна температури центра та температури поверхні рулону при повітряному охолодженні представлена на рисунку 2.1.

Таблиця 2.2 – Результати розрахунку повітряного охолодження

τ , год	1	24	36	48	60	72	84
$Fo_{пл}$	0,07	1,66	2,49	3,32	4,15	4,98	5,81
$Fo_{цил}$	0,30	7,14	10,72	14,29	17,86	21,43	25,00
$\theta_{\delta=0}$	0,99	0,69	0,57	0,45	0,38	0,30	0,26
$\theta_{\delta=\delta_0}$	0,98	0,67	0,53	0,43	0,35	0,28	0,24
$\theta_{r=0}$	0,99	0,68	0,50	0,45	0,33	0,28	0,23
$\theta_{r=r_0}$	0,98	0,62	0,47	0,38	0,30	0,25	0,20
$\theta_{оси}$	0,98	0,47	0,29	0,20	0,13	0,08	0,06
$\theta_{пов}$	0,96	0,42	0,25	0,16	0,11	0,07	0,05
$t_{оси}$	490,45	245,22	156,80	117,20	80,19	60,32	48,70
$t_{пов}$	480,99	219,39	139,57	98,43	70,40	53,60	43,04
Q , МДж	54,57	805,6	1034,78	1152,8	1233,35	1281,6	1311,9

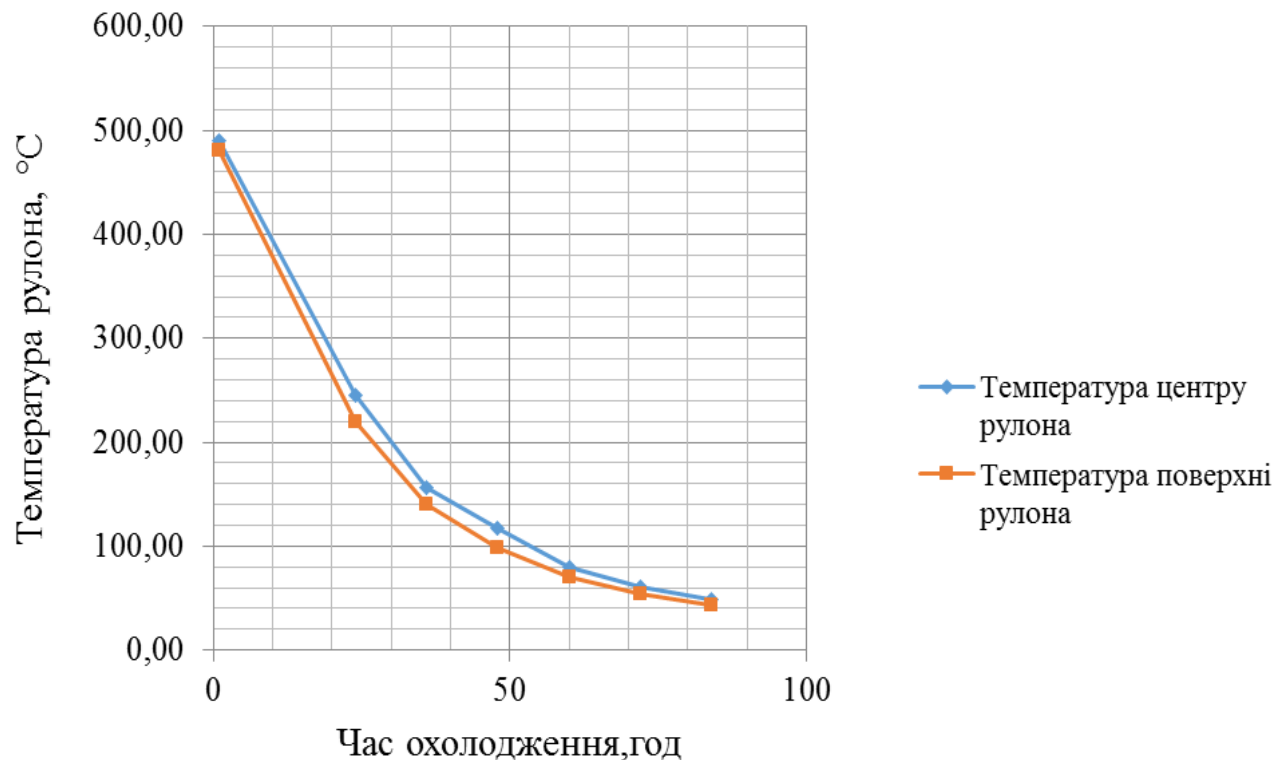


Рисунок 2.1 - Зміна температури центру та температури поверхні рулону при повітряному охолодженні

Початкові данні для водяного охолодження рулонів представлені у таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Вихідні дані до водяного охолодження рулонів

Параметр	Одиниці вимірювання	Значення
Щільність, ρ	кг/м ³	7900
Питома теплоємність, c	кДж/(кг·К)	420
Коефіцієнт теплопровідності, λ	Вт/(м·К)	45
Довжина рулону, L	м	1,68
Діаметр рулону, d	м	0,81
Коефіцієнт тепловіддачі повітрю, $\alpha_{\text{пов}}$	Вт/(м ² ·К)	13
Коефіцієнт тепловіддачі води, $\alpha_{\text{води}}$	Вт/(м ² ·К)	170
Початкова температура рулону, t_0	°С	500
Початкова температура повітря, $t_{\text{пов}}$	°С	20
Температура води, $t_{\text{води}}$	°С	35
Кінцева температура води, $t_{\text{пов}}$	°С	90

Аналогічно виконуємо розрахунки для прискореного охолодження рулонів водою і результати вносимо до таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 – Результати розрахунку повітряного охолодження

τ , год	1	2	4	5	6	7	8
F_0 пл	0,07	0,14	0,28	0,35	0,42	0,48	0,55
F_0 цил	0,30	0,60	1,19	1,49	1,79	2,08	2,38
$\theta_{\delta=0}$	1,00	0,80	0,65	0,60	0,59	0,50	0,45
$\theta_{\delta=\delta_0}$	0,44	0,35	0,30	0,25	0,23	0,20	0,18
$\theta_{\Gamma=0}$	1,00	0,90	0,60	0,50	0,45	0,40	0,30
$\theta_{\Gamma=\Gamma_0}$	0,35	0,30	0,20	0,18	0,14	0,12	0,10
$\theta_{\text{оси}}$	1,00	0,72	0,39	0,30	0,27	0,20	0,14
$\theta_{\text{пов}}$	0,15	0,11	0,06	0,05	0,03	0,02	0,02
$t_{\text{оси}}$	500,00	369,80	216,35	174,50	158,46	128,00	97,78
$t_{\text{пов}}$	106,61	83,83	62,90	55,93	49,97	46,16	43,37
Q , МДж	1129,40	1194,82	1254,89	1274,92	1292,00	1302,95	1310,96

Зміна температури центра та температури поверхні рулону при водяному охолодженні представлена на рисунку 2.2.

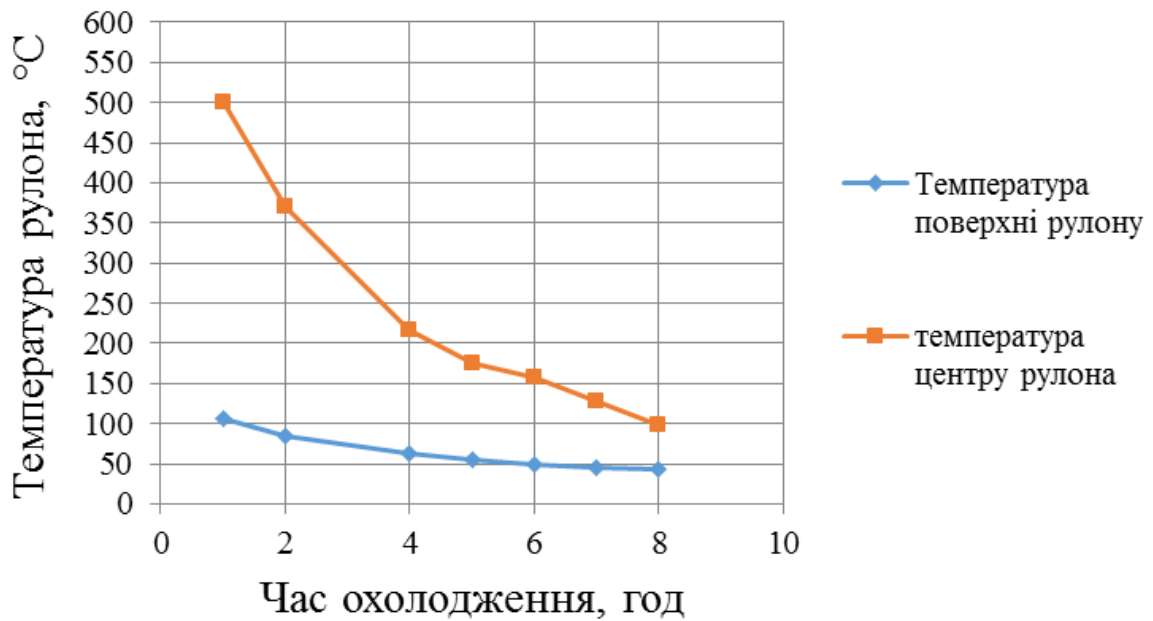


Рисунок 2.2 - Зміна температури центра та температури поверхні рулону при водяному охолодженні

З результатів розрахунків видно, що охолодження рулонів водою від початковою температури 500 °C до кінцевої 50 ° проходить у 10 разів швидше, ніж при повітряному.

Друга теорема Г. М. Кондрат'єва: при високій інтенсивності тепловіддачі темп охолодження пропорційн коефіцієнту температуропроводності матеріалу тіла a , $\text{м}^2/\text{с}$. Визначимо темп охолодження, m , с^{-1}

$$m = K^{-1}a. \quad (2.10)$$

Для циліндра довжиною l і радіусом r_0

$$K = \left[\left(\frac{2,405}{r_0} \right)^2 + \left(\frac{\pi}{l} \right)^2 \right]^{-1}; \quad (2.11)$$

$$K = \left[\left(\frac{2,405}{0,405} \right)^2 + \left(\frac{3,14}{1,68} \right)^2 \right]^{-1} = 0,026$$

$$m = 0,026^{-1} \cdot 0,000014 = 0,0005$$

2.2.5 Рівняння теплового балансу

2.2.5.1 Кількість теплоти, яке віддається від рулонів, ГДж

$$Q_1 = m_1 \cdot c_{p1} \cdot (t_0 - t_k) \quad (2.12)$$

де m_1 - маса прокату металу , кг;

c_{p1} - теплоємність металу, кДж/(кгК);

t_0 - початкова температура рулону, °С;

t_k - кінцева температура рулону, °С.

$$Q_1 = 16000 \cdot 420 \cdot (500 - 90) = 2,8.$$

2.2.5.2 Кількість теплоти, яке сприймається водою від рулонів, ГДж

$$Q_2 = m_2 \cdot c_{p2} \cdot (t_2 - t_1)$$

де m_2 - маса води , кг/с;

c_{p2} - теплоємність води, кДж/(кгК);

t_1 - початкова температура води, °С;

t_2 - кінцева температура води, °С;

2.2.5.3 Маса води , яка необхідна для охолодження рулонів, кг

$$m_2 = \frac{Q_1}{c_{p2} \cdot (t_2 - t_1)}, \quad (2.13)$$

$$m_2 = \frac{2.8 \cdot 10^9}{4190 \cdot (90 - 35)} = 12000.$$

Згідно з передбаченою конструкцією в одній чарунці буде знаходитися 6 рулонів, загальною вагою 96 тон, для охолодження яких, буде потрібно 72 м³ води.

2.3 Устаткування для охолодження гарячекатаних рулонів водою

Від устаткування для охолодження рулонів в значній мірі залежить якість металу. Особливо при цьому важливе прискорене охолодження, яке забезпечує істотне зміцнення сталі. При цьому також усувається полосчатість, зменшується щільність розщеплень штаби [2]. Термін природного охолодження рулонів досягає (4...6) діб, що складає більше 90 % тривалості повного циклу їх виробництва.

Відомі пристрої для охолодження штаби широкополосних станів за допомогою суцільної водяної завіси з установкою значної кількості ванн, а також пристрої для водо - повітряного охолодження за допомогою водорозбризкуючих форсунок, розташованих над передаточним конвеєром [4.], які дозволяють знизити температуру рулонів на (60...70) °С по зрівнянню з природним охолодженням, що явно недостатньо. Обладнання для примусового повітряного охолодження за допомогою стендів з електровентиляторами в (2...2,5) рази ефективніше природного охолодження, але воно підвищує собівартість проката із-за збільшення витрат електроенергії на (5...10) кВт·год/т, запиленості приміщень і технологічного обладнання. Пристрої для водо – повітряного охолодження рулонів в (3...3,5) рази ефективніше природного, але більш дороге в експлуатації, вимагає вирішення питань видалення пару та конденсату.

Серед використаних в промисловості пристроїв та обладнання прискореного охолодження рулонів найбільш ефективним є стенди для охолодження рулонів водою, яке в 20 разів ефективніше природного [6].

При цьому подача струменів води до відкритих кінців рулонів з форсунок супроводжується інтенсивним кипінням і розбризкуванням з утворенням великої кількості пари, яка утруднює роботи з загрузкою рулонів на охолодження.

Рулони душирують при русі їх по рольгангу, на складі під спеціальними ковпаками, на стендах з частковим опусканням рулонів в воду.

Найбільш близьким по сукупності ознак до устаткування, що заявляється є великий басейн з водою, в який занурюють на деяку глибину рулони для охолодження. Басейн має обладнання по зануренню рулонів під рівень води, подачі охолоджуючої води в басейн і зливання нагрітої води. [6]

На гарячих поверхнях рулону відбувається кипіння води з інтенсивним пароутворенням. Утворена пара охолоджується оточуючою водою, конденсується і не покидає басейну. Для запобігання пароутворення з дзеркала басейну нагріту воду зливають з одночасним додаванням холодної води.

Недоліком такого басейну є його великі розміри, складна система циркуляції води і охолодження. Вода в великому басейні нагрівається нерівномірно. Немає можливості при максимальному нагріві організувати рівномірну по площі і глибині циркуляцію води – від холодної на вході до гарячої на зливі з басейну. Утворюються активні і пасивні зони охолодження.

При безперервному процесі охолодження рулонів утруднюється очистка басейну, визначення середньомасової температури рулонів.

Охолодження рулонів під рівнем води в великому басейні є важко керуєним процесом.

В основу корисної моделі поставлено завдання розробки устаткування для охолодження гарячекатаних рулонів за допомогою встановлення чарунок для рулонів у вигляді шестигранних сотів, що забезпечує кероване охолодження рулонів під рівнем води і за рахунок цього досягається необхідне прискорене охолодження і температурна однорідність штаби в рулоні.

Для вирішення поставленого завдання в устаткуванні для охолодження гарячекатаних рулонів водою, що містить басейн і зв'язані між собою трубопроводи для подачі охолоджуючої води, трубопроводи для зливу нагрітої води, згідно з корисною моделлю басейн складається із суміщених чарунк у формі шестигранних витягнутих сотів, які розміщено на естакаді, трубопроводи охолоджуючої води підведені до нижньої гострої частини кожної чарунки, а трубопроводи нагрітої води – до відповідної протилежної верхньої гострої частини чарунки. На рисунку 2.3 представлено устаткування для охолодження гарячекатаних рулонів.

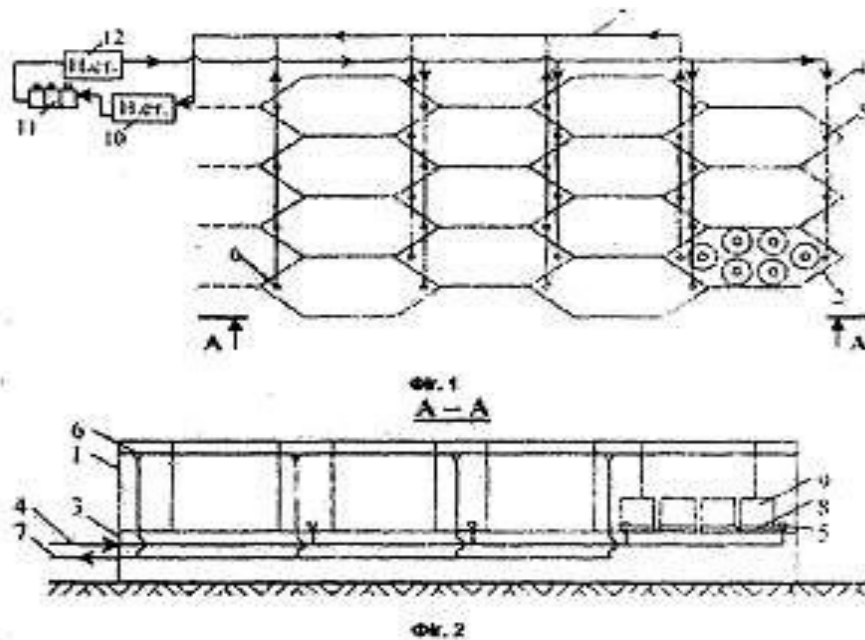


Рисунок 2.3 - Устаткування для охолодження гарячекатаних рулонів

Устаткування складається з басейну для охолодження рулонів під рівнем води 1, розділеного на окремі чарунки 2 в формі витягнутих в плані шестигранників, естакади 3 для басейну з метою розміщення під басейном водогонів і арматури, напірного колектору охолоджуючої води 4, воронки 5 в нижній гострій частині чарунки для подачі охолоджуючої води, воронки 6 в верхній гострій частині чарунки для зливу нагрітої води, зливного колектору нагрітої води 7, конвективного кільця 8 під кожний рулон для розподілення

охолоджуючої води гарячекатаного рулону 9, насосної станції гарячої води 10, градирні 11, насосної станції охолодженої води 12.

Охолодження рулонів виконується наступним чином. В пусту чарунку для кожного рулону укладають конвективне кільце. По програмі заповнюють чарунку водою з переливом води в зливний колектор. При цьому пропускна можливість перелива забезпечує пропуск кількості води, яка витісняється рулоном, що опускається під рівень води. Охолоджуючу нагріту воду є можливість використати для підігріву води гарячого водопостачання.

Гарячекатаний рулон з температурою біля 500 °С за допомогою спеціального захвату для перевантаження рулонів опускають мостовим краном в чарунку. Завантажені в чарунки рулони охолоджують до 95 °С, потім їх виймають, а на їх місце завантажують гарячі рулони.

Розміщені в плані шестигранної чарунки рулони мають зазори для можливості їх кранового завантаження і вивантаження.

Для періодичної очистки чарунки від окалини і огляду чарунки її опорожняють від води через нижній злив.

Розміщений на складі рулонів складений з чарунок басейн може бути великих розмірів, які дозволяють весь прокатаний метал пропустити через прискорене охолодження рулонів під рівнем води. Такий басейн в 20 разів менше об'єму необхідного для складування при природному охолодженні рулонів повітрям. Порівняно малий об'єм чарунки з запропонованим підводом і відводом води забезпечує рівномірний нагрів води, відбір тепла від рулонів, локальну подачу води на кожну чарунку, видиме місце завантаження і розвантаження рулонів, локальну очистку чарунки.

Розміщені під днищем басейну водогони з арматурою зменшують площу, яка зайнята для охолодження рулонів з забезпеченням висоти для роботи мостового крану.

Устаткування дозволяє автоматизувати процес охолодження рулонів. В залежності від необхідної кількості охолоджуваних рулонів, в роботу включають необхідну кількість чарунок по установленій програмі. Таким

чином розділений на чарунки басейн, розміщений на естакаді і складений в плані з суміщених між собою шестигранних чарунок, забезпечує прискорене кероване охолодження рулонів під рівнем води. Це дозволяє покращити якість сталюого листа по довжині та ширині штаби, а також формування легкоотравимої окалини.

Устаткування для прискореного охолодження гарячекатаних рулонів під рівнем води працює в комплексі з системою оборотного водопостачання.

2.4 Характеристика нагрітої води і можливість її використання для комунальних потреб

Результати хімічного аналізу вод зворотнього циклу ГВП

Таблиця 2.5 - Результати хімічного аналізу вод зворотнього циклу ГВП

Показники	Одиниці виміру	Значення показника
рН		8,05
Взвішені речовини	мг/дц ³	5,0
Сухий залишок	мг/дц ³	214
Жорсткість	мг-екв/дц ³	3,2
Кальцій	мг/дц ³	46,092
Магній	мг/дц ³	10,94
Залізо	мг/дц ³	0,318
Хлоріди	мг/дц ³	22,69
Азот амонійний	мг/дц ³	0,1195
Нітрати	мг/дц ³	2,22
Мідь	мг/дц ³	0,018
ХПК	мгО ₂ /дц ³	11,184
Сульфати	мг/дц ³	49,0
Нефтепродукти	мг/дц ³	0,022

Норми якості мережної, живильної води та води на гаряче водопостачання наведено у таблиці 2.6.

Таблиця 2.6 - Норми якості мережної, живильної води та води на гаряче водопостачання

Показник	Одиниці вимірювання	Допустима норма
Мережна вода		
Жорсткість заг,	мкг-екв/дм ³	350
Хлориди	мг/л	30
рН		8,3...9,5
Кисень	мг/л	30
Вуглекислота	мг/л	-
Залізо	мг/л	0,4
Живильна вода		
Жорсткість заг,	мкг-екв/дм ³	200
Хлориди	мг/л	30
рН		8,3...9,5
Кисень	мг/л	30
Вуглекислота	мг/л	-
Залізо	мг/л	0,4
Вода ГВП		
Жорсткість заг,	мкг-екв/дм ³	350
Хлориди	мг/л	30
рН		6,0...9,0
Кисень	мг/л	100
Вуглекислота	мг/л	-
Залізо	мг/л	0,3
Температура	°С	50-75
Цветність	Град цв	Менше 20
Мутність	мг/л	Менше 1,5
Запах	Бал	Менше 2,0

Таким чином, данні проб показують перевищення нормативів за сульфатами – 48,76 (норма=15мг/дм³), кальцієм – 46,092 (норма = 30 мг/дм³), азот аммонійний – 0,137 (норма = 0,50 мг/дм³), нітрати – 2,285 (норма = 1,0

мг/дм³). Такі різновиди води можна використовувати на потреби ГВП тільки після попередньої обробки на фільтрах.

2.4.1 Натрій-катионітний метод пом'якшення води

Відомо, що найважливішою характеристикою прісної води є її жорсткість. Пом'якшування води катіонуванням засноване на явищі іонного обміну, суть якого полягає в здатності іонообмінних матеріалів або іонітів поглинати з води позитивні іони в обмін на еквівалентну кількість іонів катіоніту. Кожен катіоніт має певну обмінну місткість, що виражається кількістю катіонів, які катіоніт може обміняти впродовж фільтроцикла. Обмінну місткість катіоніту вимірюють в грамм-еквівалентах затриманих катіонів на 1 м³ катіоніту, що знаходиться в набряклому (робочому) стані після перебування у воді, тобто в такому стані, в якому катіоніт знаходиться у фільтраті. Розрізняють повну і робочу обмінну місткість катіоніту [38].

Повною обмінною місткістю називають ту кількість катіонів кальцію і магнію, яке може затримати 1 м³ катіоніту, що знаходиться в робочому стані, до того моменту, коли жорсткість фільтрату порівнюється з жорсткістю початкової води. Робочою обмінною місткістю катіоніту називають ту кількість катіонів Ca⁺² і Mg⁺², яке затримує 1 м³ катіоніту до моменту "проскокування" у фільтрат катіонів солей жорсткості. Обмінну місткість, віднесену до усього об'єму катіоніту, завантаженого у фільтр, називають місткістю поглинання.

При пропуску води зверху вниз через шар катіоніту відбувається її зм'якшування, що закінчується на деякій глибині. Шар катіоніту, що зм'якшує воду, називають працюючим шаром або зоною зм'якшування. При подальшому фільтруванні води верхні шари катіоніту виснажуються і втрачають обмінну здатність. У іонний обмін вступають нижні шари катіоніту і зона зм'якшування поступово опускається. Через деякий час спостерігаються три зони: працюючого, виснаженого і свіжого катіоніту.

Жорсткість фільтрату буде постійною до моменту поєднання нижньої межі зони зм'якшування з нижнім шаром.

Катіонітовими матеріалами є: глауконіт, сульфовугілля і синтетичні смоли. Найбільшим поширенням нині користується сульфовугілля, який виходить після обробки бурого або кам'яного вугілля димлячої сірчаної кислоти.

Метод катіонування вимагає дуже простого обслуговування і доступний звичайному персоналу котельні без додаткового залучення хіміка. Показниками якості катіонітів є фізичні властивості, хімічна і термічна стійкість, робоча обмінна місткість та ін. Показниками фізичних властивостей катіонітів є фракційний склад і механічна міцність катіоніту, а також насипна щільність в повітряно-сухому і вологому станах, що характеризують набрякаємість катіоніту.

Фракційний склад катіонітів, що визначається звичайним ситовим аналізом, дозволяє встановити кількісне співвідношення окремих зернових фракцій, середній розмір зерен, міра однорідності останніх і кількість пилоподібних часток, непридатних до використання у фільтрі. За інших однакових умов дрібнозернистий катіоніт має вищу місткість, ніж крупнозернистий, оскільки він має відносно розвиненішу поверхню, з якою стикається оброблювана вода. З іншого боку, чим дрібніше зерна катіоніту, тим більше його гідравлічний опір і витрата електроенергії на фільтрування води. Враховуючи величини втрат натиску в шарі іоніту, що досягаються при звичайних швидкостях фільтрування, і робочі обмінні місткості, оптимальні розміри зерен катіоніту приймають в межах (0,3...1,5) мм.

Окрім розміру зерна, має значення однорідність зернового складу катіоніту, тобто співвідношення його дрібних і великих фракцій. Для зручності експлуатації катіонітних фільтрів рекомендується застосовувати катіоніт з коефіцієнтом неоднорідності k_n не вище 2.

Велике значення для експлуатації катіоніту мають його механічна міцність, а також хімічна і термічна стійкість. Ці показники потрібні для

встановлення зносу катіонітів в процесі їх експлуатації і вибору марки катіоніту стосовно заданої температури оброблюваної води і її активної реакції. Невиконання цих вимог призводить до того, що в процесі експлуатації катіоніт частково подрібнюється при фільтруванні, а також внаслідок тертя його зерен один об одного при розпушуванні, крім того, при високих температурах оброблюваної води і підвищених значеннях її кислотності або лужності він частково пептизує, тобто переходить з нерозчинного стану в стан колоїдного розчину. І те, і інше призводить до поступового вимивання пилеподібної дрібниці, що утворилася, або колоїдних часток в процесі розпушування іоніту і кінець кінцем до безповоротної втрати деякої кількості його. При практичному використанні вітчизняних катіонітів річні втрати за рахунок механічного зносу і пептизації складають для сульфовугілля 50 %, а для смоли 5 % [39].

Робоча обмінна місткість є основною технологічною характеристикою іоніту, оскільки від неї залежить об'єм іоніту, необхідний для завантаження фільтрів за заданих умов їх експлуатації. Робоча обмінна місткість катіоніту залежить від виду уловлюваних з води катіонів, співвідношення сольових компонентів в оброблюваній воді, значення рН води, висоти шару катіоніту, швидкості фільтрування, режиму експлуатації катіонітних фільтрів і питомої витрати регенеруючого реагенту.

2.4.2 Початкові дані

Типовий розрахунок витрат на експлуатацію установки ХВП при загрузці реагента сульфовугілля.

Початкові дані:

- продуктивність установки ХВП - $Q = 20 \text{ м}^3/\text{год}$;
- діаметр фільтру - 1 м;
- кількість фільтрів - 1 шт. (у двох ступенях);
- концентрація катіонів жорсткості в початковій воді $C_1 = 3,1 \text{ г-екв/м}^3$;

- концентрація катіонів жорсткості в очищеній воді $C1 = 0,05$ г-екв/м³.

На хімоводопідготовці котельній у якості катіоніту використовується сульфовугілля. Сульфовугілля отримують шляхом спеціальної обробки кам'яного вугілля міцною сірною кислотою. Тому після завантаження сульфовугілля в натрий-катіонові фільтри його відмивають водою і обробляють сіллю для насичення іонами натрію [40].

2.4.3 Розрахунок загрузки першого ступеня фільтра

Потреба в товарному катіоніті для завантаження фільтра, т

$$g_{км1} = \frac{f_{\phi} \cdot h_{кт} \cdot m}{k},$$

де f_{ϕ} – площа фільтра, м²;

$h_{кт}$ – висота шару катіоніту, м;

m – насипна маса товарного катіоніту, т/м³;

k – коефіцієнт набухання.

$$g_{км1} = \frac{0,785 \cdot 1,8 \cdot 0,82}{1,25} = 1,16.$$

Робоча обмінна здатність катіоніту, г-екв/м³

$$E_p = e \cdot V_{кт},$$

e – обмінна здатність катіоніту, г-екв/м³;

$V_{кт}$ – об'єм катіоніту, загрузеного до фільтра, м³.

$$E_p = 300 \cdot 1,4 = 420.$$

Міжрегенерацийний період, год

$$T_{\kappa} = \frac{E_p \cdot f_{\phi} \cdot h_{\kappa m}}{Ж_0 \cdot v_{\kappa}},$$

де $Ж_0$ - загальна жорсткість початкової води, г-екв/м³;

v_{κ} - швидкість фільтрування води у фільтрі, м³/год.

$$T_{\kappa} = \frac{420 \cdot 0,785 \cdot 1,8}{3,1 \cdot 6} = 32.$$

Витрата реагенту на одну регенерацію фільтру, кг

$$G_1 = \frac{E_p \cdot f_{\phi} \cdot h_{\kappa m} \cdot \gamma}{1000},$$

де γ - питома витрата реагенту на 1 г-екв робочої обмінної ємності іоніту.

$$G_1 = \frac{420 \cdot 0,785 \cdot 1,8 \cdot 180}{1000} = 106,82.$$

Кількість солей жорсткості, що видаляється на натрій-катіонитному фільтрі, г-екв/добу

$$A = 24 \cdot Ж_0 \cdot Q_{Na},$$

де Q_{Na} - продуктивність натрій-катіонових фільтрів, м³/год

$$A = 24 \cdot 3,1 \cdot 20 = 1488.$$

Число регенерації фільтру на добу

$$n_1 = \frac{A}{f_\phi \cdot h_{\text{км}} \cdot E_p},$$

$$n_1 = \frac{1488}{0,785 \cdot 1,8 \cdot 420} = 2,51.$$

Витрата води на одну регенерацію натрий-катионітного фільтру складається з, м³

$$Q_{\text{заг1}} = Q_{\text{розт1}} + Q_{\text{р.р1}} + Q_{\text{відм}} = 5,65 + 1,71 + 7,065 = 14,425.$$

Витрата води на розпушуюче промивання фільтру, м³

$$Q_{\text{розт1}} = \frac{i \cdot f_\phi \cdot 60 \cdot t_{\text{розп}}}{1000},$$

де i - інтенсивність розпушуючого промивання фільтру л/(с*м²);

$t_{\text{розп}}$ - тривалість розпушуючого промивання, хв.

$$Q_{\text{розт1}} = \frac{4 \cdot 0,785 \cdot 60 \cdot 30}{1000} = 5,65.$$

Витрата води на приготування регенераційного розчину солі, м³

$$Q_{\text{р.р1}} = \frac{G \cdot 100}{1000 \cdot b \cdot \rho_{\text{р.р}}},$$

де b – концентрація регенераційного розчину, %;

$\rho_{\text{р-р}}$ – щільність регенераційного розчину, т/м³.

$$Q_{p.p_1} = \frac{106,82 \cdot 100}{1000 \cdot 6 \cdot 1,041} = 1,71.$$

Витрата води на відмивання катіоніту від продуктів регенерації, м³

$$Q_{\text{відм}} = q_{\text{відм}} \cdot f_{\phi} \cdot h_{\text{км}},$$

де $q_{\text{відм}}$ – питома витрата води на відмивання катіоніту, м³.

$$Q_{\text{відм}} = 5 \cdot 0,785 \cdot 1,8 = 7,065.$$

Кількість води, що скидається в добу від натрій-катіонитного фільтру, м³/добу

$$Q^{Na}_{\text{доба}} = Q_{\text{заг}} \cdot a \cdot n,$$

де a – число працюючих фільтрів;

n – число регенерації кожного фільтра на добу.

$$Q^{Na}_{\text{доба}} = 14,425 \cdot 1 \cdot 2,51 = 36,21.$$

Кількість продуктів регенерації CaCl₂ і MgCl₂, що скидаються за одну регенерацію фільтру, кг-екв

$$Ж_{p_1} = \frac{f_{\phi} \cdot h_{\text{км}} \cdot E_p}{1000} = \frac{0,785 \cdot 1,8 \cdot 420}{1000} = 0,6.$$

Кількість CaCl₂, що видаляється за одну регенерацію фільтру, кг-екв

$$[CaCl_2] = Ж_p \cdot \alpha_{Ca},$$

де α_{Ca} – доля кальцію у продуктах регенерації, що видаляються з фільтру.

$$[CaCl_2] = 0,6 \cdot 0,4 = 0,24.$$

Кількість $MgCl_2$, що видаляється за одну регенерацію фільтру, кг-екв

$$[MgCl_2] = \mathcal{J}_p \cdot \alpha_{Mg},$$

де α_{Mg} – доля магнію у продуктах регенерації, що видаляються з фільтру.

$$[MgCl_2] = 0,6 \cdot 0,24 = 0,144.$$

Кількість $CaCl_2$ і $MgCl_2$, що скидається на протязі доби, т/добу

$$[CaCl_2]_{добу} = \frac{55,5 \cdot [CaCl_2] \cdot a \cdot n}{1000} = \frac{55,5 \cdot 0,24 \cdot 1 \cdot 2,51}{1000} = 0,033,$$

$$[MgCl_2]_{добу} = \frac{47,6 \cdot [MgCl_2] \cdot a \cdot n}{1000} = \frac{47,6 \cdot 0,144 \cdot 1 \cdot 2,51}{1000} = 0,017.$$

де 55,5 і 47,6 - еквівалентна маса відповідно $CaCl_2$ і $MgCl_2$.

Надлишок солі, що скидається в дренаж від однієї регенерації фільтру,

кг

$$[NaCl] = (G - 58,44) \cdot f_\phi \cdot H_{cl} \cdot E_p,$$

де 58,44 – теоретична питома витрата солі на регенерацію, г/г-екв

$$[NaCl] = (106,82 - 58,44) \cdot 0,785 \cdot 1,8 \cdot 420 = 28711,6.$$

Кількість повареної солі, що скидається впродовж доби, т/добу

$$[NaCl]_{доба} = \frac{[NaCl] \cdot a \cdot n}{1000} = \frac{28711,6 \cdot 1 \cdot 2,51}{1000} = 72,1.$$

Річний знос катіоніту, т

$$z_{к1} = \frac{\gamma_{к} \cdot f_{\phi} \cdot h_{км} \cdot a \cdot b}{100},$$

де $\gamma_{к}$ – насипна маса катіоніту, т/м³;

a – кількість встановлених фільтрів;

b – механічний річний знос катіоніту, %.

$$z_{к1} = \frac{0,82 \cdot 0,785 \cdot 1,8 \cdot 1 \cdot 50}{100} = 0,58.$$

2.4.4 Розрахунок загрузки другого ступеня фільтра

Потреба у товарному катіоніті для завантаження фільтра, т

$$g_{км2} = \frac{f_{\phi} \cdot h_{км} \cdot m}{k} = \frac{0,785 \cdot 1,5 \cdot 0,82}{1,25} = 0,77.$$

Робоча обмінна здатність катіоніту, г-екв/м³

$$E_p = e \cdot V_{км} = 300 \cdot 1,2 = 360.$$

Міжрегенерацийний період, год

$$T_{к} = \frac{E_p \cdot f_{\phi} \cdot h_{км}}{Ж_0 \cdot v_{к}} = \frac{360 \cdot 0,785 \cdot 1,5}{0,2 \cdot 6} = 353,25.$$

Витрата реагенту на одну регенерацію фільтру, кг

$$G_2 = \frac{E_p \cdot f_\phi \cdot h_{км} \cdot \gamma}{1000} = \frac{360 \cdot 0,785 \cdot 1,5 \cdot 440}{1000} = 186,52.$$

Кількість солей жорсткості, що видаляється на натрий-катионітному фільтрі, г-кв/добу

$$A = 24 \cdot Ж_0 \cdot Q_{Na} = 24 \cdot 0,2 \cdot 20 = 96.$$

Число регенерації фільтру на добу

$$n_2 = \frac{A}{f_\phi \cdot h_{км} \cdot E_p} = \frac{96}{0,785 \cdot 1,5 \cdot 360} = 0,23.$$

Витрата води на одну регенерацію натрий-катионітного фільтру складається з, м³

$$Q_{заг2} = Q_{розн2} + Q_{p.p2} + Q_{відм2} = 5,65 + 3 + 5,9 = 14,55.$$

Витрата води на розпушуюче промивання фільтру, м³

$$Q_{розн2} = \frac{i \cdot f_\phi \cdot 60 \cdot t_{розн}}{1000} = \frac{4 \cdot 0,785 \cdot 60 \cdot 30}{1000} = 5,65.$$

Витрата води на приготування регенераційного розчину солі, м³

$$Q_{p.p2} = \frac{G \cdot 100}{1000 \cdot b \cdot \rho_{p.p.}} = \frac{186,52 \cdot 100}{1000 \cdot 6 \cdot 1,041} = 3.$$

Витрата води на відмивання катіоніту від продуктів регенерації, м³

$$Q_{\text{відм}} = q_{\text{відм}} \cdot f_{\phi} \cdot h_{\text{км}} = 5 \cdot 0,785 \cdot 1,5 = 5,9.$$

Кількість води, що скидається в добу від натрій-катионитного фільтру,
м³/добу

$$Q_{\text{дооб}}^{\text{Na}} = Q_{\text{заг}} \cdot a \cdot n = 14,55 \cdot 1 \cdot 0,23 = 3,35.$$

Кількість продуктів регенерації CaCl₂ і MgCl₂, що скидаються за одну
регенерацію фільтру, кг-екв

$$Ж_{p2} = \frac{f_{\phi} \cdot h_{\text{км}} \cdot E_p}{1000} = \frac{0,785 \cdot 1,5 \cdot 360}{1000} = 0,42.$$

Кількість CaCl₂, що видаляється за одну регенерацію фільтру, кг-екв

$$[CaCl_2]_2 = Ж_p \cdot \alpha_{Ca} = 0,42 \cdot 0,4 = 0,168.$$

Кількість MgCl₂, що видаляється за одну регенерацію фільтру, кг-екв

$$[MgCl_2]_2 = Ж_p \cdot \alpha_{Mg} = 0,42 \cdot 0,24 = 0,1.$$

Кількість CaCl₂ і MgCl₂, що скидається на протязі доби, т/добу

$$[CaCl_2]_{\text{добу}} = \frac{55,5 \cdot [CaCl_2] \cdot a \cdot n}{1000} = \frac{55,5 \cdot 0,168 \cdot 1 \cdot 0,23}{1000} = 0,002.$$

$$[MgCl_2]_{\text{добу}} = \frac{47,6 \cdot [MgCl_2] \cdot a \cdot n}{1000} = \frac{47,6 \cdot 0,1 \cdot 1 \cdot 0,23}{1000} = 0,0011.$$

Надлишок солі, що скидається в дренаж від однієї регенерації фільтру,
кг

$$[NaCl]_2 = (G - 58,44) \cdot f_{\phi} \cdot H_{\text{сл}} \cdot E_p = (186,52 - 58,44) \cdot 0,785 \cdot 1,5 \cdot 360 = 54293,1.$$

Кількість повареної солі, що скидається впродовж доби, т/добу

$$[NaCl]_{доба} = [NaCl] \cdot a \cdot n / 1000 = 54293,1 \cdot 1 \cdot 0,23 / 1000 = 12,49.$$

Річний знос катіоніту, т

$$Z_{\kappa 2} = \gamma_{\kappa} \cdot f_{\phi} \cdot h_{\kappa m} \cdot a \cdot b / 100 = 0,82 \cdot 0,785 \cdot 1,5 \cdot 1 \cdot 50 / 100 = 0,48.$$

2.4.5 Річні витрати по обох фільтрах

Потреба в товарному катіоніті для завантаження фільтру, т

$$g_{\kappa m} = g_{\kappa 1} + g_{\kappa 2} = 1,06 + 0,77 = 1,93.$$

Річні витрати на досипку катіоніту, т/рік

$$g_{\kappa \text{т.дос}} = g_{\kappa \text{т}} - (g_{\kappa \text{т}} - (Z_{\kappa 1} + Z_{\kappa 2})) = 1,93 - (1,93 - (0,58 + 0,48)) = 1,06.$$

Річна витрата солі на регенерацію, т/рік

$$G = (G_1 \cdot n_1 + G_2 \cdot n_2) \cdot 365 = (106,82 \cdot 2,51 + 186,52 \cdot 0,23) \cdot 365 = 113,56.$$

Витрата води на натрий-катіонітні фільтри за рік, м³/рік

$$Q_{\text{зар}} = (Q_{\text{зар}1} \cdot n_1 + Q_{\text{зар}2} \cdot n_2) \cdot 365 = (14,425 \cdot 2,51 + 14,55 \cdot 0,23) \cdot 365 = 14439,4.$$

Кількість продуктів регенерації CaCl₂ і MgCl₂, що скидаються за одну регенерацію фільтру, кг-екв/рік

$$Жр = (Жр_1 \cdot n_1 + Жр_2 \cdot n_2) \cdot 365 = (0,6 \cdot 2,51 + 0,42 \cdot 0,23) \cdot 365 = 586,2.$$

2.5 Аналіз можливості використання теплоти від рулонів для опалення та ГВП

У зв'язку з тим, що останні десятиліття йде боротьба за економію енергоресурсів, то виникає необхідність приділяти увагу будь якому технологічному процесу, який проходить з виділенням теплоти. У попередніх розрахунках було виявлено, що при примусовому охолодженні гарячекатаних рулонів виділяється близько 2,8 ГДж теплоти з одного рулону. Тому даним проектом передбачається можливість рекуперації вторинних енергетичних ресурсів і подальше їх використання для гарячого водопостачання мікрорайону міста Запоріжжя Павло – Кічкас.

Визначення розрахункових витрат гарячої води (максимальних часових) і теплових потоків (теплової потужності) впродовж години при максимальному водоспоживанні ґрунтується на розрахунку відповідних витрат через водорозбірні пристрої (або групи однотипових пристроїв з подальшим усередненням) і визначення ймовірності їх одночасного використання.

Максимальне теплове навантаження ГВП (тепловий потік за період максимального водоспоживання впродовж години максимального споживання), кВт

$$Q_{hr}^h = 1,163 \cdot q_{hr}^h \cdot (t_{ge} - t_{xe}) \cdot Q^{ht} , \quad (2.14)$$

де q_{hr}^h - максимальні годинні витрати гарячої води, м³/год;

$t_{гв}$ - температура гарячої води, °С;

$t_{хв}$ - температура холодної води, °С;

Q_{ht} — теплові витрати, кВт.

Середньонедільні витрати теплоти на гаряче водопостачання $Q^{ср.н}_{гв}$, кДж/с житлових будівель розраховуємо по формулі

$$Q_{z6}^{cpn} = \frac{m \cdot a \cdot c \cdot (t_{z6} - t_{x6})}{n_c \cdot 3600}, \quad (2.15)$$

де m – кількість споживачів;

a – норма витрати гарячої води на одного споживача, л/год;

c – теплоємність води, кДж/кг*К;

n_c – розрахункова тривалість подачі гарячої води на добу, год.

Розрахункові (максимальні) витрати теплоти $Q_{гв}^p$, кДж/с, на побутове гаряче водопостачання для індивідуальних споживачів у разі відсутності на абонентському ввіді баків-акумуляторів гарячої води розраховуємо за формулою

$$Q_{z6}^p = \chi_n \cdot \chi_c \cdot Q_{z6}^{cpn}, \quad (2.16)$$

де χ_n, χ_c - коефіцієнти тижневої і добової нерівномірності споживання гарячої води (теплоти), $\chi_n = 1 \dots 1,2$; $\chi_c = 1,7 \dots 2$.

Розрахункові витрати теплоносія G , кг/с в двотрубних закритих теплових мережах визначаємо за формулою

$$G^{gen} = \frac{Q}{(\tau_1 - \tau_2) \cdot c_p}, \quad (2.17)$$

де Q – теплове навантаження за видами теплового споживання, кДж/с;

τ_1 – розрахункова температура води в прямому трубопроводі для проектування гарячого водопостачання, °С;

τ_2 - розрахункова температура води в зворотному трубопроводі для проектування гарячого водопостачання, °С;

c_p – теплоємність води, $c_p = 4,19$ кДж/кг·К.

Дані роботи опалювальної котельні на Павло – Кічкасі наведені у таблиці 2.7.

Таблиця 2.7 - Дані роботи опалювальної котельні на Павло - Кічкасі

Параметр	Одиниці вимірювання	Значення
Теплове навантаження на опалення	ГДж/год	212,4
Теплове навантаження на ГВП	ГДж/год	29,3
Сумарне теплове навантаження	ГДж/год	241,7
Витрата теплоносія на опалення	т/год	1040
Витрата теплоносія на ГВП	т/год	200
Температурний графік	°С	140-70

При примусовому охолодженні у 14 чарунках охолоджується 84 рулони, тобто сумарна кількість теплоти, яка може бути отримана при їх охолодженні 235,2 ГДж. Тому можна зробити висновок, що даного тепла вистачить для ГВП, а надалі можна використовувати надлишок теплової енергії на інші потреби.

3 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОЛГЕННА БЕЗПЕКА

3.1. Виявлення та оцінка шкідливих і небезпечних чинників виробничого процесу

3.1.1 Характеристика ступеня безпеки технологічного процесу, рівня механізації й автоматизації

В цілому прокатне виробництво характеризується складністю процесу й різноманітністю механічного встаткування, у зв'язку із чим, під час праці мають місце небезпечні фізичні й фізико-хімічні фактори. Вони проявляються при нагріванні металу перед прокаткою, прокатці й вогневому зачищенню поверхні прокату.

Згідно вимог правил безпеки та інструкцій з охорони праці для обслуговуючого персоналу ЦГПТЛ встановлюються умови праці на діючому стані та допоміжному обладнанні, а також порядок безпечного поводження на робочих місцях і території цеху.

Характер труда та його безпека суттєво залежить від наявності ручної і механізованої праці/34,36/. Досить повне уявлення про рівень механізації можна одержати шляхом визначення типу витрат праці впродовж зміни за формулою

$$B = \frac{M}{M + R} \cdot 100\%,$$

де B – рівень механізації праці, %;

M - сума людино-годин механізованої праці;

R - сума людино-годин ручної праці.

Результати розрахунку для основних професій цеху представлені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 - Розрахунок рівня механізації праці для різних професій

Професія робітників	Штат робітників	Кількість відпрацьованих людино - годин за добу			% Меха- нізованої праці	% Ручної праці
		Вручну	За допомогою машин	Усього		
Електрога зозварник	1	$6 \cdot 1 = 6$	$2 \cdot 1 = 2$	8	22,5	77,5
Слюсар- ремонтник	4	$4 \cdot 4 = 16$	$4 \cdot 4 = 16$	32	45	55
Оператор стану	1	$7,5 \cdot 1 =$ 7,5	$0,5 \cdot 1 =$ 0,5	8	93,75	6,25

З цієї таблиці можна зробити висновок, що:

- електрогазозварник має 22,5 % механізованої і 77,5 % ручної праці;
- слюсар ремонтник – 45 % механізованої і 5 5% ручної праці;
- оператор стану 93,75% механізованої і 6,25% ручної праці.

Таким чином, праця електрогазозварника і слюсаря відноситься до ручної, а оператора до механізованої праці.

3.2 Аналіз потенційно небезпечних і шкідливих факторів виробничого середовища

Основними шкідливими й небезпечними факторами в цеху є: шум, вібрація, надлишкові теплові виділення на ділянках: нагріву заготовок, чорнової і робочої клітей стану 1680, ножиць, рольгангів; запиленість і загазованість на деяких робочих місцях; електронезбезпечність, ймовірність падіння людей з висоти й вантажів із кранів.

Подача нагрітих злитків до прокатного стану 1680 стана є в основному безпечною операцією. Однак при транспортуванні злитків з незастиглою

серцевиною можливий виплеск рідкого металу, розлітання гарячої окалини і як наслідок теплової опіки. Додатковими небезпечними факторами є також температурний режим нагрівання, особливості прокатки, швидкість охолодження металу при деформації й т.п. При різанні металу на ножицях небезпечними є локальні зони, де рухаються й обертаються частини механізму з гострими ножами. Значно підвищує фактор безпеки процесу використання в потоці машин вогневого зачищення металу, при якому можливий вибух газів. Інші технологічні операції (охолодження, таврування, складування металу) особливого впливу на рівень безпеки технологічного процесу не роблять. Шкідливі фактори виробничого середовища представлені в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 - Технологічна карта умов праці для працюючого персоналу. Робоче місце-безперервна чорнова кліть стану 1680

Фактори	Нормативне значення, ГДК, ГДР	Фактичне значення,	III клас шкідливих і небезпечних умов і характер праці			Час дії фактору, % у зміну
			1 ступінь	2 ступінь	3 ступінь	
I. Шкідливі хімічні речовини, мг/м ³						
1 клас безпеки						
Ангідрид хромовий	0,01	0,02	2			83,1
2 клас безпеки						
Марганцю оксид (дезінтегр)	0,3	0,56	1,87			83,1
3-4 клас безпеки						
Мастила мінеральна	5	6,5	13			83,1
Азоту діоксид	2	4,0	2			83,1
II. Пил переважно фіброгенної дії, мг/м ³						

Продовження таблиці 3.2

Вміст діоксиду кремнію – 2,5%	4,0	26,4			6,6	83,1
III. Шум, дБА	80	93		13		100
IV. Мікроклімат у приміщенні						
-температура повітря, °С(теплий період року, важк. праці –середня	16/27	41,5			13,50,2-0,5	83,1
- швидкість руху повітря, м/с	0,2-0,5	0,27				83,1
Інфрачервоне випромінювання, Вт/м ²	140	794		654		80,8

Важкість праці-середня,2б; напруженість - помірна.

Умови і характер праці відносяться до III класу 3 ступеня. Робоче місце відповідає технологічній документації та проекту організації работ. Робочі місця мають у наявності наступні шкідливі чинники: 2 фактори 3–го ступеня, 2 фактори 2-го ступеня, 4 фактора 1-го ступеня По показниках робоче місце відноситься до шкідливих і важких умов праці, що відповідає показникам списку № 1, п. 1.

3.3 Технічні рішення по гігієні праці та виробничій санітарії

3.3.1 Мікроклімат

Мікроклімат- це система заходів і пристроїв, що призначена для забезпечення робочих місць і приміщень метеорологічних умов і чистого повітряного середовища.. Для усунення осідання пилу в приміщенні, зменшення її концентрації в повітрі, все встаткування обладнано зонтами (витяжна вентиляція), з'єднаними за допомогою повітроводів із пристроями

для очищення повітря. Також у прольоті стана використовують природну вентиляцію повітря (аерацію). Тепле повітря видаляється через ліхтарі, а холодне надходить через вікна, двері, ворота. Опалення побутових приміщень здійснюється за допомогою панелей, де використовують пару. Опалення здійснюється від цеху тепловодопостачання.

Норми мікроклімату на постійних робочих місцях зазначені в таблиці 3.3(ДСН 3.3.6.042-99). В холодний період року багато уваги приділяється герметизації приміщення з метою збереження частки тепла необхідного для підтримання допустимого мікроклімату в цеху. Для цього припливні жалюзі відкриваються тільки на висоті не нижче 1,8м, залізничні і автомобільні ворота обладнаються повітряними завісами. Робітникам, що працюють в зонах без значних тепловиділень виділяють теплу одягу.

Таблиця 3.3 – Допустимі норми мікроклімату виробничих приміщень

Категорія	Температура повітря в приміщеннях, °С	Відносна вологість, %	Швидкість руху повітря, м/с	Температура повітря для інших місць у приміщенні, °С
Середня важкість, 11б	Не більш, ніж на 5°С вище середньої температури зовнішнього повітря самого жаркого місяця, але не більше 28°С	Не більше 75%	0,5	Не більше ніж на 5°С вище середньої температури повітря самого жаркого місяця

3.3.2 Природне й штучне освітлення виробничих приміщень

Для створення сприятливих умов праці важливе значення має раціональне висвітлення. Незадовільне висвітлення утрудняє проведення робіт, веде до зниження продуктивності праці й працездатності очей і може бути причиною нещасних випадків й їхніх захворювань.

В цеху передбачене природне і штучне освітлення. Для вибору джерел освітлення враховують вимоги до зорової роботи: середня точність ,розряд

IV, рівень освітленості -200 лк. Застосовуються дугові ртутні лампи (ДРЛ-1000) та енергозберігаючі світлодіодні лампи LAD і світильники прямого світла типу «Астра».

Природне висвітлення нормується. Основним показником нормування служить коефіцієнт природної освітленості (КПО). Місто Запоріжжя перебуває в 4 поясі світлового клімату. Нормативна освітленість не забезпечена (менше 75% максимуму), тому використовується комбіноване висвітлення.

3.4 Техногенна безпека

Вимоги техногенної безпеки дозволяють захистити здоров'я працівників.

З метою попередження нещасних випадків забороняється:

- починати й вести технологічний процес при будь яких пошкодженнях механізмів і обладнання клітей стану;
- самовільно, поза встановленим порядком, надавати руху механізмам;
- допускати сторонніх осіб до працюючим агрегатом;

Електробезпека обладнання підтримується наступним чином: обтискний стан, електродвигун й електроапаратура надійно заземлені з величиною електричного опору 10 Ом. Всі проходи навколо обладнання звільнені від сторонніх предметів. Підлога навколо стану має рівну неслизьку поверхню.

Робоче місце добре освітлено. При ремонтах і консервації встаткування керуються вимогами безпеки згідно ДСТУ 12.003-04.

3.4.1 Засоби пожежної безпеки

Ділянка стана має категорію пожежонебезпеці Г (негорючі речовини розпечені або розплавлені, і горючі речовини, що спалюються або

утилізуються як паливо). Приміщення ділянки ставиться до I ступеня вогнестійкості (будинку з несучими й конструкціями, що обгороджують, із природних або штучних кам'яних матеріалів, бетону або залізобетону із застосуванням листових і плитових негорючих матеріалів) згідно ДБН 1.1.-

7.2002. Клас можливої пожежі -А, тверді горючі матеріали. Межі вогнестійкості конструкцій: несучі й сходові клітки – 2год.;самонесучі – 1год.;зовнішні несучі - 0,25 год.; внутрішні несучі елементи - 0,25 год.; колони – 2год.; сходові площадки, щаблі, балки, марші сходових кліток – 1год.; плити, настили й ін. несучі конструкційні перекриття - 0,75 год..

До первинних засобів пожежогасіння в цеху відносять: вогнегасники ВП-1 (15 шт.), ВВ-2 (24 шт.), ВПП-1Д (28 шт.), пожежний інвентар (покривало з негорючого теплоізоляційного полотна, ящики з піском, бочки з водою, спеціальний інвентар (багри, ломи, сокири й ін.).

3.4.2 Ймовірні аварії і заходи їх локалізації

В прокатному виробництві можливі різноманітні аварії. Аварія –це пошкодження споруд чи технічних пристроїв ,які використовують на небезпечному виробничому об'єкті , неконтрольований вибух або викиди небезпечних речовин /35/. Аварії в цеху можливі в наслідок морального та фізичного старіння обладнання ,низького технічного рівня виробництва, застарілих технологій. Більша частина аварій виникає в наслідок поломок валків, роликів рольгангу, вибухів газу в нагрівальній печі. Аналізом нещасних випадків із смертельними випадками встановлено, що основні ричини є: незадовільна організація та проведення робот (60%), несправність обладнання (30%), порушення технологічних інструкцій при проведенні технологічного процесу. Для зниження ризику аварій при гарячій прокатці необхідно підвищити надійність технологічного обладнання, посилити контроль за підтриманням необхідної температури слябів , міцності

контактної поверхні робочих валків, пошкодження якої є однією із можливих причин аварій.

Оперативною частиною плану ліквідації аварій (ПЛА) і аварійних ситуацій (ПЛАС) повинні охоплювати всі види можливих аварій.

3.5 Інженерний розрахунок аерації цеху

Природна вентиляція здійснюється за допомогою аерації - організованого регульованого природного повітрообміну (рис.3.1). Для аерації в цеху влаштовані три ряди отворів у поздовжніх стінах будівлі: перший ряд - на рівні 1м від підлоги, другий - 4,2 м і третій - на рівні підкранових балок.

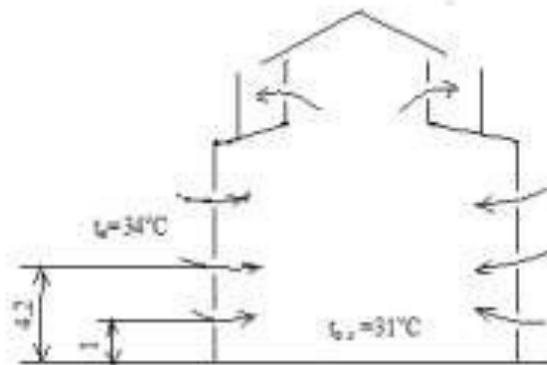


Рисунок 3.1 - Схема аерації гарячого цеху

Таке розміщення отворів дозволяє збільшити повітрообмін влітку, а взимку, закривши нижні прорізи, зменшити його й забезпечити за рахунок тепла підігрів холодного повітря перш, ніж воно дійде до робочих місць. На даху влаштований витяжний світло аераційний ліхтар з кутом відкриття стулок 80°. Розрахунок загального повітрообміну проводиться для теплого періоду року, як самого несприятливого для аерації, з врахуванням надлишкової явної теплоти.

Кількість необхідного припливного повітря, м³/год

$$L_{\text{пр}} = \frac{Q_{\text{я}} - C_{\text{в}}(t_{\text{рз}} - t_{\text{пр}})}{C_{\text{в}}(t_{\text{ух}} - t_{\text{пр}})} + L_{\text{мо}},$$

де $Q_{\text{я}}$ - надлишки явної теплоти в приміщенні цеху, кВт;

$L_{\text{мо}}$ - кількість повітря, що видаляє з робочої зони місцевими відсосами, м³/с;

$C_{\text{в}}$ - теплоємність повітря ($C_{\text{в}} = 1,005$ кДж/(м³ °С));

$t_{\text{рз}}$ - температура робочої зони, °С;

$t_{\text{пр}}$ - температура припливного повітря, °С (для теплого періоду дорівнює температурі зовнішнього повітря);

$t_{\text{ух}}$ - температура повітря, що видаляється з верхньої зони приміщення, °С.

Надлишки явної теплоти в приміщенні цеху складаються з тепловиділень від нагрівальних печей і металу, що остигає.

Тепловиділення від слябів, кВт

$$Q_1 = N_y \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_4,$$

де N_y - нормативна або номінальна потужність устаткування, кВт;

k_1, k_2, k_3, k_4 – коефіцієнти використання настановної потужності (0,7...0,9); завантаження встаткування; одночасності роботи встаткування; переходу тепла в приміщення (0,1...0,7).

$$Q_1 = 2500 \cdot 0,8 \cdot 0,9 \cdot 1,0 \cdot 0,5 = 900 \text{ кВт.}$$

Тепловиділення від металу, що остигає, кВт

$$Q_2 = \frac{G_{\text{м}} \cdot C_{\text{м}}(t_{\text{н}} - t_{\text{к}})}{3600},$$

де $G_{\text{м}}$ – годинна продуктивність цеху, кг/год;

$C_{\text{м}}$ – теплоємність металу середній температурі, кДж/(кг·°С);

t_n , t_k – відповідно, початкова й кінцева температура металу, що остигає, °С.

$$Q_2 = 3500/3600 \cdot 0,425(1450-1200) = 103,3 \text{ кВт}$$

Кількість теплоти ,що поступає у приміщення від сонячної радіації, кВт

$$Q_3 = g_{\text{ост}} \cdot F_{\text{ост}} \cdot A_{\text{ост}} \cdot 10^{-3},$$

де $g_{\text{ост}}$ – величина радіації через 1 м^2 заклоєної поверхні (приймаємо рівної 83 Вт/м^2);

$F_{\text{ост}}$ – площа поверхні скла, м^2 ;

$A_{\text{ост}}$ – коефіцієнт, що залежить від характеристики скла (приймаємо рівним $0,8$);

$$Q_3 = 83 \cdot 100 \cdot 0,8 \cdot 10^{-3} = 7 .$$

Загальна кількість теплоти Q , кВт та припливного повітря, кВт

$$Q_{\Sigma} = 900 + 103,3 + 7 = 1010;$$

Тоді

$$L_{\text{пр}} = \frac{1010 - 1.005(32 - 22)}{1.005(40 - 22)} + 1,2 = 50,8.$$

Для оптимальної роботи на робочих місцях необхідно здійснювати приплив холодного повітря в розмірі $50,8 \text{ м}^3/\text{с}$.

Розрахунок площі припливних $F_{\text{пр}}$ і витяжних $F_{\text{вит}}$ прорізів приміщення цеху, м^2

$$F_{\text{пр}} = \frac{G \cdot}{\mu_1 \sqrt{2gh_{\text{пр}}\rho_{\text{уд}}(\rho_{\text{н}} - \rho_{\text{уд}})}}$$

$$F_{\text{вит}} = \frac{G \cdot}{\mu_2 \sqrt{2gh_{\text{вит}}\rho_{\text{уд}}(\rho_{\text{н}} - \rho_{\text{уд}})}}$$

де μ_1, μ_2 – коефіцієнти втрат, які приймаються $\mu_1=0,56$ та $\mu_2=0,57$;

$h_{\text{пр}}, h_{\text{в}}$ – відстань від нейтральної зони до центрів відносно припливних і витяжних прорізів, м;

$$F_{\text{пр}} = \frac{50,8 \cdot}{0,56 \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 3,11 \cdot 1,33 \cdot (1,34 - 1,33)}} = 100,$$

$$F_{\text{вит}} = \frac{50,8 \cdot}{0,57 \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 4,89 \cdot 1,33 \cdot (1,34 - 1,33)}} = 89.$$

Згідно розрахунків площа припливних отворів відрізняється від площі витяжних ліхтарів на 11% ,що не заперечує вимогам інженерних розрахунків природної вентиляції для теплого періоду року.

ВИСНОВКИ

На підставі результатів проведених досліджень встановлені основні закономірності формування структури і комплексу механічних характеристик конструкційних сталей в процесі прискореного охолодження після плющення. Показано, що прискорене охолодження порівняно з охолодженням на повітрі забезпечує істотне зміцнення сталі внаслідок подрібнення зерна фериту, посилення ефекту дисперсійного зміцнення і формування низькотемпературних продуктів проміжного зміцнення замість перліту. Прискорене охолодження сприяє усуненню порожнин, зменшенню щільності розщеплювань, що також надає сприятливу дію на ряд характеристик. Найбільш високий рівень властивостей сталі досягається при комплексному застосуванні контрольованого плющення і прискореного охолодження.

На підставі результатів проведених досліджень показано:

1. Основні закономірності формування структури і комплексу механічних характеристик конструкційних сталей в процесі прискореного охолодження після плющення.
2. Примусове прискорене охолодження порівняно з охолодженням на повітрі забезпечує істотне зміцнення сталі внаслідок подрібнення зерна фериту, посилення ефекту дисперсійного зміцнення і формування низькотемпературних продуктів проміжного зміцнення замість перліту. Прискорене охолодження сприяє усуненню порожнин, зменшенню щільності розщеплювань, що також надає сприятливу дію на ряд характеристик.
3. Найбільш високий рівень покращення властивостей сталі досягається при комплексному застосуванні контрольованого плющення і прискореного охолодження.
4. Оптимальним способом охолодження рулонів є водяний. Його

використання дозволяє поліпшити рівномірність механічних властивостей по довжині смуг, підвищити механічні властивості гарячекатаної низьколегованої сталі і виключити необхідність додаткового проведення нормалізації. Скорочення тривалості охолодження забезпечує формування легкоотриманої окалини на гарячекатаній смузі.

5. Можливість утилізації теплової енергії при примусовому охолодженні рулонів водяним способом.

6. Шкідливі фактори технологічного процесу гарячої прокатки металу .Виконано розрахунок аерації прокатного цеху.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Мазур В.Л., Костяков В.В., Тимошенко Л.В. Современные способы ускоренного охлаждения полосы в рулонах / Ин-т "Черметинформация". Москва. 1987. 20 с.
2. Костяков В.В., Воробей С.А., Меденков А.А., Осипов Ю.А. Исследование эффективности новых устройств для охлаждения полос и рулонов на стане 1700. Сталь, 1993, №5, С.48-52.
3. Эффективные режимы принудительного ускоренного охлаждения рулонов горячекатаных полос / В.Л. Мазур, В.В. Костяков, З.П. Каретный и др. // Сталь. 1989. № 4. С.44-48.
4. Трайно А.И., Сергеев Е.П., Чащин В.В., Юсупов В.С. Ускоренное охлаждение рулонов горячекатанных полос. Бюлетень Черной металлургии, 1997, №9-10, С. 30-35
5. Влияние ускоренного охлаждения рулонов полосового подката на качество холоднокатаного листа / В.Н. Хлопонин, В.В. Чащин, В.А. Пешков и др. // Изв. вузов:Черная металлургия. 1989. № 9. С.71-76.
6. Улучшение качества горячекатаных полос регулируемым охлаждением рулонов / В.В.Чащин, В.Н.Хлопонин, В.А.Пешков и др. // Сталь.1990. № 3. С.77-81.
7. Влияние ускоренного охлаждения рулонов на уровень механических свойств низколегированных и углеродистых сталей /В.В. Чащин, В.А.Пешков, И.Ю.Захаров, О.С.Хлыбов // Новейшие достижения в производстве листовой стали с покрытиями. Москва. 1989. С.10-13.
8. Влияние регулируемого охлаждения рулонов на структуру и травимость окалины / В.В.Чащин, С.С. Колпаков, В.А. Пешков и др. // Черная металлургия: Бюл. ин-та "Черметинформация". М. 1991. Вып.1. С.60-62.

9. Исследование температурного поля горизонтально расположенного рулона / В.И. Мелешко, В.В.Костяков, З.П. Каретный, И.И.Вахрамеев // Улучшение качества горячекатаной широкополосной стали: Сб. тр. Москва : 1986. С.58-66.

10. Эфрон Л.И., Литвиненко Д.А.. Влияние параметров ускоренного охлаждения на структурообразование и механические свойства конструкционных сталей. Ж. Сталь, 1994, №1, С.53-58.

11. Ефименко С.П., Бернштейн М.Л. Пути интенсификации технологии упрочнения проката//Сталь, 1986, №4, с. 69-75.

12. Карп, И.Н. Энергосберегающие технологии в металлургии Текст. / И.Н.Карп, А.Н.Зайвий // Черная металлургия: Бюл. ин-та «Черметинформация». -2006. №6. -С. 51-57.

13. Шаталов, Р.Л. Энергосбережение как средство интенсификации производства горячекатаного листа Текст. / Р.Л.Шаталов, А.Л.Гекин, Т.А.Койнов // Теория и практика производства листового проката. Сб. научных трудов: 4.1. — Липецк, 2008 С. 146-151.

14. Никитина, Л.А. Способы экономии тепловой энергии в линии полосовых станов горячей прокатки: Обзорная информация: Серия «Прокатное производство»: Вып.1. Текст. / Л.А.Никитина, Л.К.Тарасова, Л.А.Лебедева — М.: Ин-т «Черметинформация», 1993. 22 с.

15. Роменец, В.А. Внедрение энергосберегающих технологий на металлургических комплексах сталь-прокат Текст. / В.А.Роменец, С.Н.Тростьянский, А.С.Гуров [и др.] // Бюл. ин-та «Черметинформация». Черная металлургия. 1987. - Вып.8. - С. 17-34.

16. Бахаев, К.В. Исследование и разработка энергосберегающей технологии тонколистовой холодной прокатки Текст. / К.В. Бахаев // Диссертация на соиск. уч. степ. канд. техн. наук. Липецк, 2002. 152 с.

17. Кичкина А.А., Матросов М.Ю., Дубинин И.В. Влияние ускоренного охлаждения после контролируемой прокатки на структуру и

свойства стали 05Г1МБ//М. Металловедение и термическая обработка. 2006. № 11. с. 125127.

18. Матросов М.Ю., Кичкина А.А., Ефимов А.А., Эфрон Л.И., Багмет О.А. Имитация процессов структурообразования в трубных сталях при контролируемой прокатке с ускоренным охлаждением//М. Metallurg. № 7. 2007. С. 52-58.

19. О возможности управления структурообразованием горячекатаной полосы на широкополосных станах /С.В. Денисов, А.Н. Завалищин, В.Е.Злов и др. // Производство проката, 2004. № 6. С.5-8.

20. Чернов П.П., Ларин Ю.И., Поляков В. Н. / Влияние условий смотки и ускоренного охлаждения на фазовый состав и свойства прокатной окалины // Производство проката, 2001. № 12. С. 35 38.

21. Захаров А.Е., Герус В.И., Мирошниченко Л.О. / Влияние скорости охлаждения на механические свойства и микроструктуру низкоуглеродистой рулонной стали // Металловедение и термическая обработка металлов, 1967. №12. С. 60-63.

22. Влияние условий охлаждения после горячей прокатки на структуру стали Зсп / М.А. Штремель, В.И. Лизунов, Ю.А. Мухин и др. // Сталь, 1981. № 6. С. 45-48.

23. Ускоренное охлаждение листа / А.Е.Захаров, Б.П.Зуев, Д.А.Стороженко и др. // Сталь, 1971. № 8. С. 27-29.

24. Медведев Г.А., Денисов П.И., Медведев А.Г. Метод расчета температуры металла при горячей прокатке листов и полос: Учебное пособие. Свердловск: УПИ, 1981.56 с.

25. Шичков А.Н., Лайбеш В.Г. Теплообмен в производстве листового проката. Л.: СЗПИ, 1982. 88 с.

26. Новый подход к управлению установкой ускоренного охлаждения проката / Ю.И. Кудинов, Е.А. Халов, И.Ю. Кудинов и др. // Производство проката, 2004. №4. С. 24-30.

27. Авчухов В. В., Паюсте Б. Я. Задачник по процессам тепло-массообмена: Учебное пособие для вузов. Москва : Энергоатомиздат, 1986. 144с.
28. Сафьян Н.М. Прокатка широкополосной стали. М.: Metallургия, 1969. 460 с.
29. Краснощеков Е. А., Сухомел А. С. Задачник по теплопередаче: Учеб. пособие для вузов. Москва : Энергия, 1980. 288с.
30. Ривкин С.Л., Александров А.А. Термодинамические свойства воды и водяного пара. Справочник. – Изд. 2-ое, перераб. и доп. Москва : Энергоатомиздат, 1984. 80с.
31. Патанкар С. Численные методы решения задач теплообмена и динамики жидкости. Москва : Энергоатомиздат, 1984.
32. Исаченко В.П. и др. Теплопередача. Учебник для вузов. Изд. 3-е, перераб. и доп. Москва : Энергия, 1975. 488с. с ил.
33. Лыков, А.В. Теплообмен: справ. Москва : Энергия, 1978. 480с.
34. Термодинамика и теплопередача: учеб. пособие для вузов /А.В Болгарский, Г.А. Мухачев, В.К. Щукин. - Изд. 2-е, перераб. и доп. Москва : Высшая школа, 1975. 495 с.
35. Андреев, М.М. Теплообменная аппаратура энергетических установок. Москва : Машгиз, 1963. 240 с.
36. Болгарский А.В., Мухачев Г.А., Щукин В.К. Термодинамика и теплопередача. – М.: Высшая школа, 1964. 458с.
37. Степанов В.С, Степанова Т.Б. Потенциал и резервы энергосбережения в промышленности. Новосибирск: Наука. Сиб. отдел., 1990.- 248 с.
38. Химические и термические методы обработки воды. Учебное пособие для студентов ЗГИА специальности ТЭ / И.Г. Яковлева, А.Н. Назаренко – Запорожье: Изд. ЗГИА, 2003.- 137 с.

39. Хімічні та термічні методи обробки води. О.М.Назаренко – Запоріжжя, 2006-30 с.
40. В.Ф. Вихрев, М.С. Шкроб. Водоподготовка / Ред. Шкроб М.С. учебник для ВУЗов по специальности "Тепловые электростанции". - М.: Энергия, 1973.-416с.
41. Правила устройства электроустановок. ПУЭ-86.-М.: Энергоатомиздат, 1987. 648с.
42. Долин П.А. Справочник по технике безопасности. -М.: Энергоиздат, 1982. - 800с.
43. Електробезпека. Методичні вказівки до дипломного та курсового проектування, контрольних робіт і практичних занять/Укл. В. Г. Рижков. – Запоріжжя: ЗДІА, 2004. – 60с.
44. Смирнов Н.В., Коган Л.М. Пожарная безопасность предприятий чёрной металлургии. – М.: Металлургия, 1989. – 432с.
45. Долин П.А. Основы техники безопасности в электроустановках. - М.: Энергоиздат, 1984. - 448с.
46. Охорона праці та промислова безпека: Навч. посіб./ К.Н.Ткачук та ін. К.: Основа ,2009-350с.
47. Раздорожный А.А. Охрана труда и производственная безопасность.- М.: Экзамен, 2006.-510с.
48. Румянцев В.Р. Охорона праці і техногенна безпека / В.Р.Румянцев та ін., // Методичні вказівки до виконання розділу дипломних робіт для студентів ЗДІА всіх спеціальностей денної та заочної форми навчання.- Запоріжжя: ЗДІА, 2012.- 48с.
49. Жидецький В.Ц., Джигирей В.С., Сторожук В.М. Практикум з охорони праці - Львів, Афіша, 2000.-352с.