

Міністерство освіти і науки України

Запорізький національний університет

(повне найменування вищого навчального закладу)

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

(назва факультету)

Кафедра Обробки металів тиском

(повна назва кафедри)

## Пояснювальна записка

до бакалаврської роботи

рівень вищої освіти перший (бакалаврський)  
(перший (бакалаврський) рівень, другий (магістерський) рівень)

на тему Розробка режиму прокатки штаби розмірами 1,2x1000 мм із сталі 08ю в умовах цеху гарячої прокатки для підвищення продуктивності стану

Виконав: студент 4 курсу, групи б.1360-омт-д

Зайцев Данило Олексійович

(ПІБ)

(підпис)

спеціальності

136 Металургія

(шифр і назва)

спеціалізація

(шифр і назва)

освітньо-професійна програма

обробка металів тиском

(шифр і назва)

Керівник Кругляк Д.О.

(прізвище та ініціали)

(підпис)

Запоріжжя - 2022 року

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

Кафедра \_\_\_\_\_ Обробки металів тиском \_\_\_\_\_

Рівень вищої освіти \_\_\_\_\_ перший (бакалаврський) рівень \_\_\_\_\_  
(перший (бакалаврський) рівень, другий (магістерський) рівень)

Спеціальність \_\_\_\_\_ 136 Металургія \_\_\_\_\_  
(шифр і назва)

Спеціалізація \_\_\_\_\_  
(шифр і назва)

Освітньо-професійна програма \_\_\_\_\_ обробка металів тиском \_\_\_\_\_  
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ  
Завідувач кафедри \_\_\_\_\_ ОМТ \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_ Ю.О. Бєлоконь \_\_\_\_\_

“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2022 року

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

Зайцев Данило Олексійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) \_\_\_\_\_ Розробка режиму прокатки штаби розмірами 1,2x1000 мм із сталі 08ю в умовах цеху гарячої прокатки для підвищення продуктивності стана \_\_\_\_\_

керівник проекту (роботи) \_\_\_\_\_ Кругляк Дмитро Олегович \_\_\_\_\_ к.т.н, доцент \_\_\_\_\_  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затвер джені наказом вищого навчального закладу від “17” 01 2022 року № 90-с

2. Строк подання студентом проекту (роботи) \_\_\_\_\_ 17.06.2022 \_\_\_\_\_

3. Вихідні дані до проекту (роботи) \_\_\_\_\_ Визначення параметрів оптимізації прокатування інструментальної сталі на безперервних станах гарячої прокатки \_\_\_\_\_

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

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)  
Креслення, презентаційний матеріал 11 слайдах (на 11 сторінках)

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата
		Завдання прийняв
<i>Загальна частина</i>	<i>Кругляк Д.О., доцент</i>	
<i>Технологічна частина</i>	<i>Кругляк Д.О., доцент</i>	
<i>Механічна частина</i>	<i>Кругляк Д.О., доцент</i>	
<i>Охорона праці та техногенна безпека</i>	<i>Кругляк Д.О., доцент</i>	

7. Дата видачі завдання 17.02.2022

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	<i>Вступ</i>	29.04.2022 - 12.05.2022	
2	<i>Реферат</i>	12.05.2022 - 16.05.2022	
3	<i>Загальна частина</i>	29.04.2022 - 11.06.2022	
4	<i>Технологічна частина</i>	12.05.2022 - 07.06.2022	
4	<i>Механічна частина</i>	17.05.2022 - 30.05.2022	
5	<i>Охорона праці та техногенна безпека</i>	24.05.2022 - 15.06.2022	
6	<i>Висновки</i>	30.05.2022 - 17.06.2022	

Студент \_\_\_\_\_ Д.О. Зайцев  
 (підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи) \_\_\_\_\_ Д.О. Кругляк  
 (підпис) (прізвище та ініціали)

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до випускної роботи: 95 с., 15 рис., 18 табл., 25 джерела.

Об'єкт вивчення - проектування нового стану в комплексі з ЛПА.

Мета роботи – вдосконалити стан першого покоління в умовах ПАТ «Запоріжсталь», за допомогою сполучення широкоштабового стану гарячої прокатки 1680 з ЛПА.

Метод дослідження – стандартні методики розрахунку режиму деформації та енергосилових параметрів при листовій гарячій прокатці.

Отримані результати та новий стан, спроектований шляхом видалення чорнової групи клітей у ШСГП 1680, та сполучення чистової групи клітей з ливарно-прокатним агрегатом, що дозволяє отримати кращу якість поверхні прокатоного листа і знизити енергетичні та економічні витрати на виробництво.

Результати роботи можуть бути використані на широкоштабовому стані гарячої прокатки в умовах ПАТ «Запоріжсталь».

ГАРЯЧА ПРОКАТКА, ЛИВАРНО-ПРОКАТНИЙ АГРЕГАТ, ШИРОКОПОЛОСНИЙ СТАН, ТОНКИЙ СЛЯБ, ТОНКИЙ ЛИСТ, МАШИНА НЕПЕРЕРВНОГО ЛИТТЯ ЗАГОТІВЛІ, КРИСТАЛІЗАТОР, ВАЛКИ, КЛІТЬ, ДЕФОРМАЦІЯ.

## ЗМІСТ

ВСТУП .....	7
1 ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА.....	8
1.1 Аналіз технологічних процесів виробництва штаб на ЛПА .....	8
1.1.1 Технологія широкоштабових станів гарячої прокатки на прикладі ШСГП 2000.....	8
1.1.2 Передумови створення ЛПА.....	14
1.1.3 ЛПА фірми Nucor Steel.....	17
МНЛЗ.....	23
1.1.4 ЛПА фірми Danieli .....	25
1.2 Недоліки та переваги розглянутих станів .....	30
1.3 Вибір варіанту проектованого стану.....	35
1.4 Опис технологічного процесу на самому прокатному стані.....	39
1.5 Опис технології виробництва на МНЛЗ .....	41
1.6 Опис основного устаткування .....	45
2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА .....	50
2.1 Розрахунки кінематичних і енергосилових параметрів для одержання штаби з розмірами 1,2×1000 сталь 08Ю .....	50
2.2 Розрахунок річної продуктивності стану .....	63
3 МЕХАНІЧНА ЧАСТИНА .....	66
3.1 Характеристика робочої кліті стану.....	66
3.2 Розрахунок листового валка на міцність .....	69
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА .....	72
4.1 Аналіз потенційно небезпечних и шкідливих чинників виробничого середовища.....	72
4.2 Заходи з поліпшення умов праці у цеху гарячої прокатки.....	76
4.2.1 Вентиляція і кондиціонування повітря.....	76
4.2.2. Освітлення в цеху .....	80
4.2.3 Захист від виробничого випромінювання .....	82
4.2.4 Захист від виробничого пилу.....	83

4.2.5 Захист від виробничого шуму і вібрації.....	84
4.3 Заходи з електробезпеки .....	86
4.4 Заходи з пожежної та техногенної безпеки.....	87
4.5 Розрахунок сили струму, що проходить через тіло людини. Вибір і обґрунтування мережі для живлення виробничого обладнання. ....	89
ВИСНОВКИ.....	93
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	94

## ВСТУП

Обробка металу тиском є завершальною ланкою в металургійному циклі. Приблизно 90% усього виплавленого в сталеплавильних агрегатах металу піддається прокатці, куванню, штампуванню, пресуванню й іншим видам пластичної обробки. Найбільша питома вага в операціях обробки тиском має поздовжня прокатка, за допомогою якої роблять велику кількість різноманітних профілів, широко застосовуваних у народному господарстві.

За останні роки відбулися істотні зміни в технології й устаткуванні листопрокатного виробництва, спрямовані на скорочення витрати металу й підвищення якості продукції. В області виробництва слябів повністю відмовляються від виробництва їх на слябах і блюмінгах, замість них впроваджують машини безперервного лиття заготівель (МНЛЗ).

Для прокатки тонколистової сталі в гарячому стані застосовують безперервні стани з новими конструкціями клітей, що забезпечують безпрограмний процес виробництва штаби, пристрої й системи контролю й регулювання точності поперечного й поздовжнього профілів перетинів. На багатьох сучасних широкоштабовий станах гарячої прокатки освоєна прокатка штаби товщиною (1,0-1,5 мм), які дешевше подібних штаб, отриманих на станах холодної прокатки. Застосовують лінійно-прокатні агрегати (ЛПА) і агрегати прямої виливки тонких штаб.

На початку ХХІ століття в технології виробництва стали відбувся зміни, що поклали початок промислового виготовленню гарячекатаних штаб з використанням двовалкових ливарно-прокатних агрегатів замість розливання сталі на тонкослябових МНЛЗ із наступною гарячою прокаткою в чистовій групі.

В роботі виконаний аналіз діючих ЛПА, та сполучення ЛПА зі станом першого покоління.

## 1 ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА

### 1.1 Аналіз технологічних процесів виробництва штаб на ЛПА

#### 1.1.1 Технологія широкоштабових станів гарячої прокатки на прикладі ШСГП 2000

Широкоштабові стани гарячої прокатки, установлені після 1970р., - стани третього покоління, характеризуються високою продуктивністю - до 6 млн. т/рік, швидкістю прокатки до 30 м/с масою рулонів, що прокочують, до 50 т, у яких останні кліти чорнової групи об'єднані в безперервну групу. Таке положення клітей дозволяє задавати в чистову групу клітей тонкий розкат з більше високою температурою й, отже, прокочувати більше тонку штабу.

Сучасні широкоштабові стани мають у складі 4-6 клітей кварто в чорновій групі й 6 - 7 клітей у чистовій групі. Прокочують штаби товщиною 0,8 ~ 30 мм. і шириною 600 - 2300 мм зі слябів з розмірами (130 - 300 ) x (600-2300)мм і довжиною 9-15 м.[1]

Характерні риси станів третього покоління наступні:

- широке застосування нагрівальних печей із крокуючими балками;
- збільшення числа чорнових ( до 5 - 6) і чистових ( до семи з можливістю подальшого збільшення) клітей;
- установка роздільних моталок для тонких і товстих штаб;
- широке впровадження системи автоматичного регулювання товщини штаби й пристроїв регулювання прогину валків;



- застосування методу прискорення прокатки в чистовій групі клітей з метою регулювання температури по довжині штаби;
- механізація зміни робочих валків;
- повне освоєння керування технологічним процесом .

В Україні й Росії працюють сім безперервних широкоштабових станів і найбільш сучасним є стан 2000 Череповецького металургійного комбінату, що перебуває на рівні закордонних аналогів.

Після нагрівання до температур 1220 - 1250°C сляби видають із печі із крокуючим підпіччям спеціальними штовхачами ненаголошеної дії. Вертикальний окалинозломлювач із діаметром валків 1200 мм забезпечує прокатку за 1 прохід з обтисненням 50 - 100 мм, що важливо для запобігання й утворення на крайках штаб рваних і ефективного виламування окалини по всій ширині сляба. У горизонтальному окалино зломлювачі підвищується ступінь виламування окалини при обтисненні 15-40мм. Видалення окалини з верхньої поверхні розкату виробляється гідрозмивом з тиском струменя води на виході з форсунок у межах 15-20 М Па.

Широкоштабові стани останньої будівлі обслуговуються п'ятизонними (шестизонними) печами із крокуючими балками продуктивністю 300 - 350 т/час. Останні вимагають і інвестицій на будівництво й обслуговування. Сучасні печі опалюються з 200 - 250 пальників, які розташовані в торцевих і бічних ділянках печі, а також на зводі. Як паливо використовують суміші природного – коксо-доменного газів.[1]

Зі складу литі сляби візками 4 подають до печей у які, залежно від хімічного складу, сляби нагрівають до температури 1150 - 1250°C і передаються штовхачами 2 на прийомний пристрій рольганга 28. Після нагрівання й видачі сляба на нижній грубний рольганг першою операцією є виламування окалини у вертикальному окалино зломлювачі, діаметр валків якого становить  $D =$  (обтиснення по ширині 50-100 мм). Обтиснення по ширині не тільки зламає поверхневий куля окалини, алі й запобігає

утворення розривів на крайках розкатів (штаб). У горизонтальному двовалковому окалино зломлювачі 24 з діаметром валків 120 виламування окалини виконують при обтисненні 15 - 40 мм, окалину видаляють із поверхні гідрозмивом тиском струменя води на виході з форсунки в межах 15 - 20 м Па.

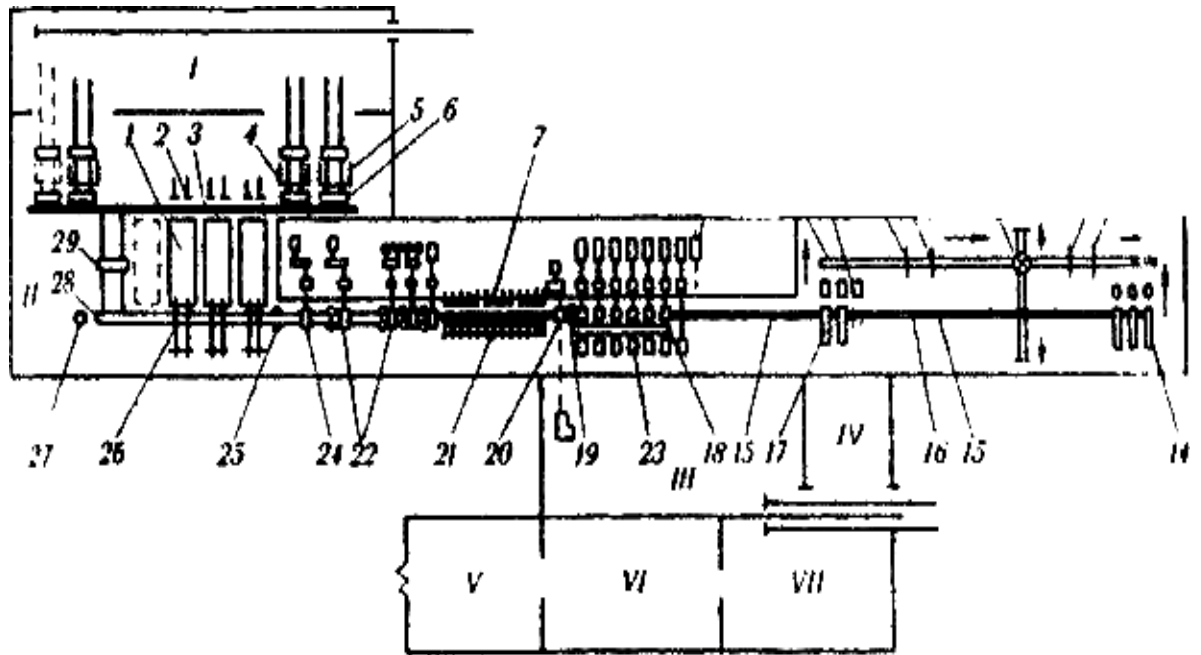


Рис. 1.1 Схема розташування встаткування стану 2000 Череповецького металургійного комбінату:

I - склад слябів; II - проліт стану; III - ділянка підігріву валків; IV - насосна станція; V - майстерня ревізії підшипників кочення; VI – вальця шліфувальна майстерня; VII- склад валків; 1 нагрівальна піч; 2 - штовхач слябів у печі; 3 - завантажувальний рольганг, 4 - візок для слябів; 5 - штовхач слябів у стола; б - піднімальний стіл; 7 - скидач не до катів; 8 - чистова кліть № 8 (штриховими лініями показані нагрівальна піч і чистова робоча кліть № 8, намічувані до установки); 9 - конвеєри рулонів; 10 – кантувач рулонів; 11 - маркірувальник рулонів; 12 – рулонно-зв'язувальна машина; 13 - підйомно-поворотний стіл; 14 - друга група моталок; 15 - системи охолодження штаб на рольгангах, що відводять; 16 - рольганги, що відводять; 17 - перша група моталок; 18- чистова група клітей; 19 - чистовий роликовий окалиноломач;

20- летучі ножиці; 21 - кишень для недокатів і товстих штаб, 22 - чорнові чотиривалкові універсальні кліті; 23 - механізми для зміни валків; 24 - чорнова кліть; 25 - вертикальна кліть; 26 - приймач слябів; 27 - стаціонарний упор; 28 - прийомний рольганг для слябів; 29- передатний візок для слябів.

У чорнових клітях можна прокочувати сляби товщиною 200 - 305 мм до розкату товщиною 25 - 80 мм, тобто з максимальним коефіцієнтом витяжки 12. Максимальне обтиснення в клітях чорнової групи, як правило, не перевищують 60 мм і становлять залежність від товщини розкату, 15 - 50% . У чистовій групі коефіцієнт витяжки становить 8 - 25 (більші значення для семи клітьовій групи при прокатці тонких штаб). [1]

Таблиця 1.1. - Максимальні обтиснення в клітях

№ кліті	Чорнова група	Чистова	Група
	ε, %	У шести клітьовій групі, %	У семи клітьовій групі, %
1	15-23	40-50	40-48
2	22-30	40-45	40-46
3	26-35	34 – 40	35-41
4	27-40	30-35	32-39
5	30 - 50	25	25-35
6	33 - 35	10-15	20-28
7	-	-	10-16

Останнім часом товщину розкату збільшують до 45 - 80 мм, що дозволяє прокочувати на безперервних станах штаби товщиною до 30 мм високої якості. Для відрізки переднього кінця товстих розкатів сконструйовані спеціальні летучі ножиці барабанного типу. Для прокатки товстих штаб на сучасних станах установлюють спеціальні моталки, розраховані на змотування штаб товщиною до 30 мм і шириною до 2000 мм.

У чорновій групі чотиривалковій клітці 22 універсального типу (з горизонтальними й вертикальними валками). Вертикальні валки цих клітці призначені для зняття розширення металу й калібрування розмірів сляба по ширині. Обтиснення в цих клітках не перевищує 25 мм. Особливістю цього стану є наявність три клітьової безперервної групи, у якій розкат прокочують із натягом 10 - 15 Н/мм<sup>2</sup>. Для одержання такого натягу коефіцієнт неузгодженості сусідніх клітці становить до = 1,005-1,01. Окружна швидкість у першій клітці стану  $v = 1,2$  м/с останньої (п'ятої) клітці чорнової групи дорівнює  $V_3 < 5$  м/с.

Після чорнової групи розкат з температурою 1080 – 1100 °С подають на проміжний рольганг довжиною ~ 40 м, по якому переміщується до чистової групи клітці 18. У випадку раптової зупинки клітці чистової групи, розкат із проміжного рольганга скидачем 7 передають у кишеню 21 для недокатів і товстих штаб. Перед входом у першу клітці чистової групи передні дефектні кінці відрізають на летучих ножицях 20 барабанного типу. По мірі руху розкату по проміжному рольгангу відбувається втрата тепла й температура його заднього кінця, що входить в першу клітці чистової групи пізніше переднього, буде 50 - 85°С нижче. Наявність перепаду температур по довжині (штаби) обумовлює поява поздовжньої різної товщини. Для компенсації впливу температурного клина прокатку штаби чистовій групі виконують із прискоренням  $Du = 0,05 - 0,1$  м/с<sup>2</sup> захвату переднього кінця штаби моталкою. При такій прокатці поздовжня різнотовщинність штаби робиться мінімальною за рахунок зменшення градієнта температур і зниженні границі текучості металу.[5]

Перед чистовою групою встановлений окалиноломач 19 роликового типу для збиття вторинної (повітряної) окалини. У чистовій групі встановлені чотиривалковій клітці (два приводні чавунні робочі валки з вибіленою поверхнею із твердістю більше 70 HSD і діаметром 800 мм і два сталевих опорних валка зі Ст. 9ХФ і довжиною бочки L - 2000 мм. [11]. Як

відомо опорні валки великого діаметра з високим моментом опору вигину, знижують прогин робочих валків і, разом з тим, поперечну різну товщину штаб. Менший діаметр робочих валків забезпечує деформацію металу з порівняно невеликими лещатами й довжиною дуги контакту.

Режим деформації штаб у клітях чистової групи обумовлений кількістю клітей, товщиною й хімічним складом штаби повинний забезпечити[3]:

- потрібну температуру кінця прокатки;
- силу прокатки, меншу по величині, чим допустима сила;
- потужність прокатки, не перевищуючу потужність установлених приводів;
- поперечна різна товщина і площинність готової штаби повинна відповідати стандартам і технічним умовам (ТУ).

Регулювання міжвалкового зазору в процесі прокатки штаби виконують електромеханічними й гідравлічними натискними пристроями, а центрування штаби по осі стану здійснюють керованими бічними лінійками, а також системою проти згину.

Сучасні широкоштабові стани працюють із керуючими обчислювальними машинами (УВМ), які управляють не основними операціями технологічного процесу[3]:

- реєстрація й облік;
- спостереження за металом, регулювання й оптимізація;
- режим нагрівання;
- темп прокатки;
- температура кінця прокатки;
- температури змотування;
- профіль і форма штаби;
- ширина штаби;
- посадкою й видачею слябів з печі;

- міжвалковими зазорами в чорновій і чистовій групах;
- транспортними засобами, ножицями й моталками.

Для одержання після прокатки рівновісного зерна фериту, дрібнодисперсну структуру й необхідні механічні властивості металу штаби випускають із чистової групи із граничними значеннями температур. Так, для стану 2000 при прокатці штаб зі сталей 08кп, 08пс, 10пс температура кінця прокатки винна бути в межах 860 - 900°C, а обтиснення в останній кліті при  $v = 20$  м/с становить 15 - 20%. Після виходу з останньої кліті штабу прохолоджується в душируючій установці на рольгангу 15. При цьому температура штаби при змотуванні на моталку становить 550 – 650 °С. Такий режим прокатки й душирування забезпечує високий ступінь штампування металу. На рольгангу, що відводить, за чистовою групою клітей штаби прохолоджуються водою зі швидкістю 6 - 50 °С/сек. Кількість охолоджуючої води регулюється залежно від розмірів перетину готового розкату, його температури, марки сталі, швидкості розкату, що рухається, і може досягати 14, 0 тис. м<sup>3</sup>/ч.

За станом установлені дві групи моталок по трьох у кожній;

- перша - для штаб товщиною 1,2 - 8 мм;
- друга - для штаб товщиною 4 - 16 мм.

### 1.1.2 Передумови створення ЛПА

У цей час тонкий і середній лист виготовляють головним чином на широкоштабових станах гарячої прокатки четвертого й п'ятого поколінь. Еволюція розвитку йшла по шляху збільшення числа клітей чистової групи, підвищення швидкості прокатки, автоматизації, удосконалювання способів і систем регулювання товщини й профілю гарячекатаного листа. Зростала маса рулонів. Велика увага приділялася збільшенню КПД, економії енергії й ресурсозбереженню при гарячій прокатці.

Однак сучасний стан технології ШСГП характеризується, як досягнувший рівня насичення у своєму розвитку. У зв'язку із цим слід привести короткий аналіз вимог, пропонованих до цих станів, а також результати тих розв'язків, які сприяли створенню й впровадженню ЛПА [6].

Основними причинами появи ЛПА стали погіршення якості й подорожчання видобутку сировинних ресурсів, підвищення цін на енергоресурси й жорсткість вимог екології [8].

Ливарно-прокатні агрегати (ЛПА), що здійснюють принцип безперервного виробництва металургійної продукції від розплаву сталі до готового прокату, почали створюватися в період промислового поширення технології безперервного лиття заготовок.

Історія створення ливарно-прокатних агрегатів (ЛПА), що здійснюють принцип безперервного виробництва металургійної продукції від розплаву сталі до готового прокату, бере початок з 1970-х років [8], тобто в період широкого промислового поширення технології безперервного лиття. У цей час у світі діє досить багато міні-заводів на базі ЛПА, що роблять сортовий довгомірний прокат (у тому числі на території колишнього СРСР - у Молдові й Білорусії). Уже в 70-ті роки вони зайняли провідні позиції в даній області завдяки своїй ефективності, гнучкості й високій продуктивності. Це дозволило їм працювати із прибутком навіть в умовах різкого зниження цін на сталь.

Перший вітчизняний дослідно-промисловий комплекс, що об'єднує плавильну піч і безперервний (планетарний) стан був введений в експлуатацію наприкінці 70-х років минулого сторіччя на заводі «Електросталь». Сортамент продукції, що випускається, – коло діаметром 8...15 мм із різних ( у тому числі й легованих) марок сталі.

Однак найбільш значимою подією останніх десятиліть у чорній металургії є створення технології виробництва гарячекатаної сталевий штаби на основі тонкослябового виливка.

Доцільність створення такої технології диктувалося можливістю одержання плоскої заготовки з розмірами близькими до розмірів кінцевої продукції. У порівнянні із традиційним способом виробництва листового прокату ЛПА з тонкослябовою машиною безперервного лиття забезпечує [6]:

- зниження питомих капітальних витрат ;
- скорочення часу будівництва й освоєння;
- зниження собівартості прокату на ;
- зниження енергетичних і матеріальних ресурсів;
- поліпшення екологічних умов;
- скорочення часу виконання замовлень.

Інтенсивні роботи зі створення міні-заводів на базі тонкослябових ЛПА проводяться практично всіма провідними закордонними фірмами з початку 80-х років. З 1983 р. як у нашій країні, так і за кордоном розробляються нові технології розливання за назвою “розливання з розмірами, близькими до кінцевих”. Мотивом цієї діяльності є безсумнівне бажання знизити загальну величину обтиснення, необхідного для виробництва тонкої гарячекатаної штаби.

ЛПА практично одночасно почали розробляти п'ять фірм: «Шлеман-Зімаг» (ФРН), «Маннесманн-Демаг» (ФРН), «Даниелі» (Італія), «ФЕСТ-Альпине» (Австрія) і ВНИИМЕТМАШ (СРСР) [6].

Причому вирішальний внесок у розробку ЛПМ для листового прокату внесли фірми «Шлеман-Зімаг» (ФРН) - SMS і «Ньюкор» (США). Перша - як розроблювач технології й устаткування тонкослябового ЛПМ, друга - як фірма, що вирішилась на промислове впровадження розробленого ЛПМ, що пройшов випробування тільки на пілотній установці.

Роботи над створенням ЛПМ на фірмі SMS були початі в 1980 р [6]. В 1985- 1986 р.р. проводили досвідчені розливання металу на знову створеної МНЛЗ у сляби перетином 5040x1200 мм і 50x1600 мм при швидкості розливання  $V = 1,2-4$  м/хв. Підписання контракту з фірмою «Ньюкор» на



поставку ЛПМ (Csp-compact Strip Production - компактне виробництво штаби) відбулося в 1987 р. В 1988 - 1989 р.г. - будівництво установки CSP у м. Крофордсвіллі (США, штат Індіана) і в 1989 р. - її пуск. Перший ливарно-прокатний агрегат по виробництву гарячекатаної штаби з тонких слябів був зданий в експлуатацію влітку 1989 р. на заводі фірми Nucor steel у м. Кроуфордсвілл, шт. Індіана, США. Агрегат виконаний на основі технології CSP (Compact Strip Production - компактне виробництво штаби), розробленою фірмою Schloemann-Siemag, Німеччина. В 1991 р. проектна потужність ЛПМ (830 тис.т/рік) була освоєна. В 1992 р. уведений у дію другий ЛПМ у м. Хікмені (США, штат Арканзас) також на заводі фірми «Ньюкор». Із січня 1992 р. на заводі фірми Arvedi у м. Кремона (Італія) експлуатується агрегат, виконаний за технологією ISP (Inline Strip Production - потоковий спосіб виробництва штаби) - розробка фірми Mannesmann Demag, Німеччина.

Основними перешкодами в сполученні технологічних процесів лиття й прокатки є:

- невідповідність виробничості машини безперервного лиття заготовок і безперервного стану;
- невідповідність максимальної швидкості лиття тонких слябів і необхідної швидкості прокатки (швидкість витягування заготовки 1...5 м/хв, а швидкість прокатки в першій кліті станів звичайної конструкції 30 м/хв);
- проблема збереження тепла штаби, що повільно рухається.

Поява ЛПА, що рентабельно працюють і при річному виробництві листової продукції менш 1 млн.т, дозволило почати будівництво й листопрокатних міні-заводів.

### 1.1.3 ЛПА фірми Nucor Steel

В 1986 р. фірмою Nucor Steel, США, було ухвалене рішення про спорудження першого у світі металургійного міні-заводу по виробництву

гарячекатаної штаби з тонких слябів на основі технології CSP. Фірма SMS приступила до будівництва однострумкового агрегату CSP для виробництва 800 тис.т/рік гарячекатаної штаби товщиною 2,5...12,7 мм і шириною 1100...1350 мм [8].

Агрегат був уведений в експлуатацію влітку 1989 р. На думку багатьох фахівців, це було історичною подією не тільки для фірми, але й для світової чорної металургії, оскільки нова технологія CSP з'явилася революцією у виробництві гарячекатаної штаби.

Схема першої ЛПМ показано на мал.1.3.1. Особливістю нової МНЛЗ є форма кристалізатора й заглибної склянки.

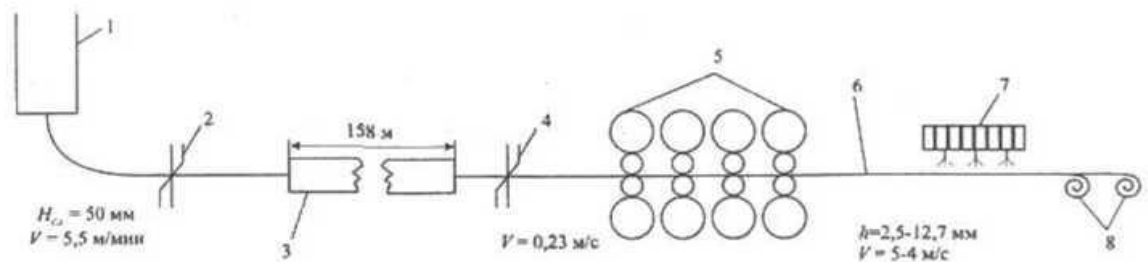


Рис.1.2. Схема розташування встаткування ЛПМ фірми SMS на заводі фірми «Ньюкор» (США, м.Крофордсвілл):

1 - МНЛЗ; 2 - ножиці; 3 - прохідна роликів піч; 4 - ножиці аварійного реза; 5 - безперервна група клітей; 6 - рольганг, що відводить; 7 - установка прискореного охолодження металу; 8 - моталки.

Установлений у ЛПМ високошвидкісний кристалізатор має воронкоподібну форму: вгорі - витягнутий овальний перетин, знизу - прямокутний перетин (мал.1.3.). Перехід від овальної до прямокутної форми ретельно підібраний. Це забезпечує раціональне підведення металу й розвинену поверхню контакту кристалізатора сталі, що й розливається, що оптимізує умови відводу тепла й подачі шлакоутворювальної суміші [8].

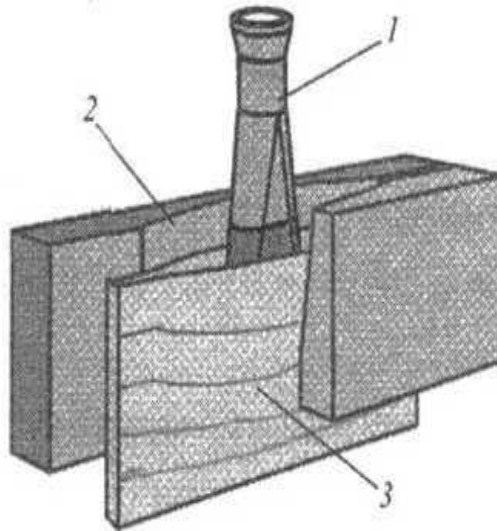


Рис.1.3. Схема кристалізатора й заглибної склянки МНЛЗ у ЛПМ фірми SMS:

1 - погрузний стакан; 2 - кристалізатор; 3 - форма твердіючого металу в кристалізаторі.

Точність форми і розмірів кристалізатора повинні бути ретельно витримані, тому довгий час усі кристалізатори для ЛПА, що поставляються в усі країни, виготовляли на заводі фірми SMS.

Другий новий елемент МНЛЗ – погрузний стакан спеціальної форми, що забезпечує стабільний і симетричний розподіл потоків у рідкій ванні кристалізатора, низьку турбулентність на меніску, виключення змиву оболонки й формування мостів внаслідок великої дистанції між стінкою кристалізатора й стакана і т.д. (див. мал.1.3.).

Високий рівень температури на виході із МНЛЗ ( а ця найважливіша умова для забезпечення високоефективної роботи ЛПМ) досягається тим, що при повній робочій швидкості розливання рідка фаза в серцевині тонкого слябу закінчується лише перед самим витягаючим пристроєм. За ним контакти з напрямляючими або правильними роликками знижуються до необхідного мінімуму з метою скорочення втрат тепла.

Вертикальна однострумкова МНЛЗ із вигнутим кристалізатором характеризується наступними основними параметрами:

Товщина безперервно-ливої заготовки, мм .....	43
Ширина, мм.....	1100...1350
Максимальна довжина, м.....	47
Швидкість розливання, м/хв .....	2,5...6,0
Довжина кристалізатора, мм .....	1100
Металургійна довжина МНЛЗ, мм .....	5800
Радіус вигину, мм.....	3000

На МНЛЗ застосована жорстка затравка, що вводиться в кристалізатор внизу: заготовку розрізають на мірні довжини за допомогою механічних ножиць.

Піч відпалу обладнана газовими горілками, що працюють на природному газі. При виборі розмірів печі на додаток до камер нагрівання й витримки додали накопичувач довжиною 38 м, так що сумарна довжина печі склала 158 м.

Ножиці аварійного різку перед чистовою групою клітей, які повинні забезпечити можливість роботи печі в холосту при неполадках на прокатному стані, виконані механічними й по конструкції відповідають ножицям для різання безперервно-литих заготовок. Здійснюється гідрозбив окалини водою високого тиску.

На чотирьохклітьовому безперервному широкоштабовому стані гарячої прокатки у всіх клітях є гідравлічні натискні механізми, системи осьового зсуву валків (CVC) і системи противовигину робочих валків. Комплексні системи регулювання товщини, форми профілю й планшетності забезпечують дотримання геометричних параметрів якості. Приводні електродвигуни прийняті однаковими у всіх клітях (потужність 7000 кВт) [8].

Стан характеризується наступними основними параметрами:

Товщина штаби на виході, мм.....	2,5...12,7
Максимальна ширина штаби, мм.....	1350
Зовнішній діаметр рулонів, мм.....	1000... 1950

Внутрішній діаметр рулонів, мм.....	760
Маса рулонів, т.....	24
Питома маса рулону, кг/мм.....	18
Діаметр робочих валків, мм.....	780
Довжина бочки робочих валків (із системою SVC), мм.....	1700
Діаметр опорних валків, мм.....	1350
Довжина бочки опорних валків, мм .....	1500
Максимальне зусилля прокатки, МН.....	30
Потужність електродвигуна кожної кліті, кВт.....	7000

З конструктивної точки зору стан виконаний таким чином, щоб згодом до нього можна було додати кліть для отримання ще більш тонкої штаби

Відводячий рольганг, обладнаний системою охолодження ламінарного типу, причому завдяки постійній швидкості прокатки число зон перемикання можна скоротити тільки до пристроїв попереднього регулювання основної витрати води. Максимальна швидкість смотки моталками, розташованими нижче рівня підлоги, становить 12 м/с. Загальна довжина лінії 250 м.

Спочатку запланована продуктивність ЛПА 67 тис. т/міс. була значно перевищена вже в середині 1990 г, тобто після декількох місяців експлуатації.

Установка CSP була змонтована з однострумковим МНЛЗ, однак у квітні 1994 р. до неї додали другий струмок, а прокатний стан у січні 1993 р. доукомплектували п'ятої кліттю .

Перший агрегат CSP виявився для фірми Nucor Steel успішним техніко-економічним розв'язком: повна виробнича потужність, близько 68 тис.т/міс гарячекатаної штаби, була досягнута вже до кінця 1990 р. За твердженням фахівців фірми, витрати розраховуючи на тонну виробленої продукції на 50 дол. США нижче, чим при роботі із традиційною технологією на заводі з повним циклом виробництва [8].

Гарні техніко-економічні показники обумовили рішення фірми Nucor Steel спорудити другу, більшу по продуктивності установку, що працює за технологією CSP.

Другий агрегат був введений в експлуатацію в серпні 1992 р. Замовлення на поставку встаткування для розливання тонких слябів і їх прокатки фірма SMS одержала в 1990 р.[8]. Будівництво нового агрегату здійснювалося фірмою, разом з її американськими відділеннями протягом 15 місяців.

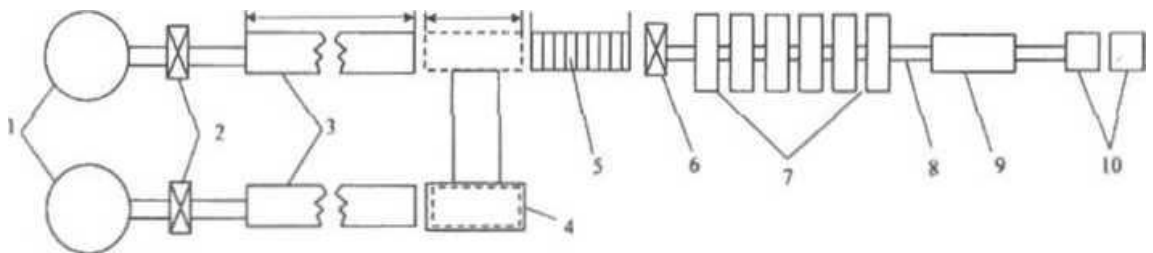


Рис.1.4. Схема розташування встаткування (у плані) двухструмкового ЛПМ фірми «Шлеман-Зімаг»:

- 1 - МНЛЗ; 2 - ножиці; 3 - прохідна газова піч; 4 - паром;  
 5 – теплоізолюючий тунель; 6 - ножиці аварійного різку; 7 - безперервна група клітей; 8 - рольганг, що відводить; 9 - установка прискореного охолодження; 10 моталки.

Зміни нового ЛПМ полягали в наступному:

- збільшена ємність сталерозливного ковша з 112 до 135 т;
- застосовано дві МНЛЗ, що працюють одночасно;
- збільшена довжина печі до 206 м;
- для злиття двох потоків слябів в один застосований паром (мал.1.4, позиція 4);
- удосконалений гідрозбиву окалини;
- встановлено 6 клітей у безперервній групі;

- робочі валки перших трьох клітей збільшені до 800 мм, а трьох останні зменшені до 735 мм;
- довжина бочки валків збільшено з 1500 до 1700 мм;
- маса рулону збільшена до 28 т при збереженні питомої маси 18 кг/мм;
- збільшена максимальна сила прокатки з 30 до 35 МН.

Усі кліті обох ЛПМ оснащені системою регулювання поперечного профілю й площинності штаб СВС. Продуктивність ЛПМ у Хікмені склала 2 млн. т/рік.

Принципова схема другого агрегату виконана за концепцією першого із приблизно тою же річною продуктивністю одного струмка - до 1 млн. т/рік. Використована технологія така ж, як і на заводі в Кроуфордсвіллі, і конструктивні зміни в порівнянні з першою установкою CSP відрізняються лише в розмірах і деяких конструктивних деталях. Так, на установці заводу Хікмен із самого початку було запроєктоване розширення МНЛЗ на два струмки. Другий струмок був уведений в експлуатацію в травні 1994 р. У результаті річна продуктивність підвищилася до 2 млн. т. Завод обладнано двома дуговими електропечами постійного струму ємністю по 150 т і двома пічами. На МНЛЗ відливають сляби шириною 1220...1625 мм і товщиною 50 мм. На шестиклітьовому стані при максимальній ширині штаби одержують кінцеву товщину 1,8 мм. Більш повна технічна характеристика відділень установки ЛПМ заводу Хікмен наведена нижче [8]:

#### МНЛЗ

Тип.....	Вертикальна, з вигином заготовки
Число струмків.....	2
Товщина сляба, мм.....	50
Ширина сляба, мм.....	1220...1625
Агрегат для розливання.....	Поворотна вежа
Ємність проміжних ковшів, т.....	28

Довжина кристаллизатора, мм.....	1100
Швидкість лиття, м/хв.....	2,5...6,0
Металургійна довжина заготовки, мм.....	6020
Радіус вигину заготовки, мм.....	3000
Довжина слябу, м.....	47

#### Прокатний стан

Число клітей.....	6
Товщина готової штаби, мм.....	1,8...12,7
Ширина штаби, мм.....	1220...1625
Питома маса рулону, кг/мм ширини.....	18
Діаметр робочих валків, мм:	
клітей 1-3.....	800
клітей 4-6.....	735
Довжина бочки робочих валків, мм.....	1900
Діаметр опорних валків, мм.....	1350
Довжина бочки опорних валків, мм.....	1700
Максимальне зусилля прокатки, МН.....	35
Число моталок.....	1

На заводі в Хікмені діаметр робочих валків шестиклітьового стану в перших трьох клітях збільшений до 800 мм. В останніх трьох клітях він становить 735 мм, що забезпечує досягнення меншої кінцевої товщини штаби. Усі кліті працюють по технології, що добре зарекомендувала себе, SVC (з використанням бочкообразності валків і їх осьового зсуву) і являють собою ланки ланцюга регулювання точності профілю й планшетності штаби.

Система ламінарного охолодження виходячої зі стану штаби має дванадцять зон з тонким регулюванням витрати води, що подається зверху й з низу. Після досягнення необхідної температури змотування, штабу звертають у рулон на підпільній моталці із трьома притискними роликами з



гідроприводом, які автоматично (система “Step-Control”) сходяться й розходяться, крім ушкодження поверхні листа.

На агрегаті потрібно всього 75 хв, щоб рідка сталь, розлита МНЛЗ, зійшла з моталки у вигляді рулону гарячекатаної штаби. Довга підігрівальна піч дозволяє при затримці на стані не припиняти неперервне розливання протягом 10 хв .

#### 1.1.4 ЛПА фірми Danieli

Ще однієї фірмою, що приступила до розробки тонкослябових МНЛЗ, стала італійська фірма Danieli. При цьому розробітники при створенні МНЛЗ поставили перед собою завдання, які забезпечили б [8] :

- висока якість поверхні й структури металу слябів;
- широкий марочний сортамент сталі й діапазон швидкості розливання;
- оптимальні умови експлуатації.

У результаті багаторічних досліджень МНЛЗ поставлені завдання були вирішені за рахунок:

- удосконаленого способу підведення рідкої сталі від проміжного ковша до кристалізатору;
- нової конструкції кристалізатора;
- «м'якого» обтиснення;
- захисту від проривів рідкого металу;
- регулювання рівня рідкого металу в кристалізаторі;
- оптимізації режиму хитання кристалізатора;
- регульованого охолодження слябу повітряним туманом.

Концепція агрегатів фірми заснована на дискретному принципі передачі заготовок із МНЛЗ у прокатний стан з використанням печі для вирівнювання температури.

Після досить тривалих досліджень і відмови від ряду первісних технічних розв'язків фірмою запропоновано два базові технологічні процеси

- з використанням установок безперервного розливання тонких слябів ( від 50 до 75 мм) максимальною продуктивністю до 700 тис. т/рік готової продукції;

- з використанням установок безперервного розливання середніх/тонких слябів ( від 80 до 160 мм) для підприємства продуктивністю до 2,5...3 млн. т/рік.

Конфігурація цих установок забезпечує переваги, характерні для ЛПА з дискретним принципом передачі: економію енергоресурсів завдяки можливості максимального використання тепла литої заготовки й зменшення габаритів у зв'язку з виключенням чорнової групи прокатного стану.

Дотримуючись представленої загальної концепції, фірма Danieli створила гнучкий агрегат для вилівки й прокатки тонких слябів, схема якого представлено на мал. 1.5..

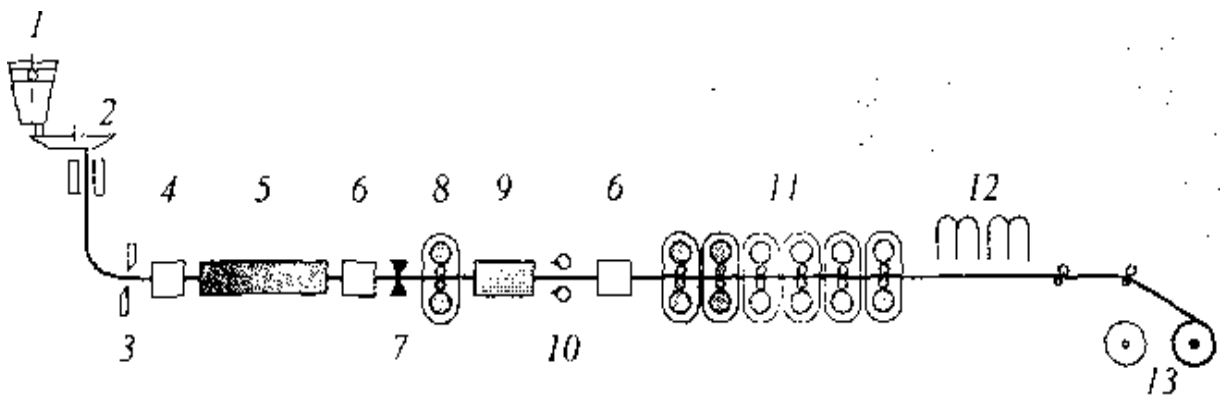


Рис. 1.5. Гнучкий ЛПА фірми Danieli для виробництва й прокатки тонких слябів:

1 - кристалізатор; 2 - механізм хитання кристалізатора; 3 - маятникові ножиці; 4 - обертовий водяний окалиноломач; 5 - печі для вирівнювання температури слябів; 6 - водяний окалиноломач; 7- еджер; 8- чорновий стан; 9- обігрівальний шлеппер; 10 - відрізні барабанні ножиці; 11 - чистовий стан; 12 - установка водяного охолодження; 13- підпільні моталки

Для забезпечення продуктивності до 3 млн. т/рік і одержання високоякісних штаб широкого марочного сортаменту, включаючи сталі для глибокої витяжки й сталі для виготовлення виробів, що зазнають сильного впливу навколишнього середовища, двухструмкова МНЛЗ оснащена воронкоподібним кристалізатором 1 довжиною 2,2 м, механізмом хитання кристалізатора 2, системою автоматизації технологічного процесу. Використання невеликих обтиснень напівпродукту дозволяє робити на МНЛЗ тонкі сляби (товщиною 50 мм) і сляби середньої товщини (70 мм). При виливку слябів середньої товщини ширина кристалізатора більше на 20-30 мм. Динамічна система невеликого обтиснення заготовки фірми Danieli дозволяє змінювати товщину сляба.

Маятникові ножиці 3 періодичної дії, розташовані за витяжним пристроєм кожного струмка МНЛЗ, призначені для обрізки переднього й заднього кінців слябів і їх різання на заготовки необхідної довжини.

Обертовий окалиноломач 4 забезпечує чисту, рівну поверхню сляба, видаляючи грубу окалину, що утворюється при розливанні. Його застосування приводить до більш швидкого росту вторинної окалини, при цьому забезпечується регулювання виду окалини ( шляхом зміни змісту кисню в атмосфері тунельної печі).

Печі 5 з рухливим подом оснащена подаючим і вихідним рольгангами, що зв'язують її безпосередньо із МНЛЗ і, відповідно, із прокатним станом. Сляб, що виходить із МНЛЗ, проходить різання на мірні довжини, які повинні відповідати необхідній масі рулону, і надходить у піч, що містить три секції рухливого поду. Основними особливостями тунельної печі з роликівим подом є можливість регулювання вмісту кисню в атмосфері печі на рівні поверхні сляба й збільшена буферна ємність. Система розрахована на завантаження в накопичувач такої кількості слябів, яка відповідає ємності розливного ковша у випадку, якщо виникають ускладнення в роботі прокатного стану .

В еджері 7 компенсується конусність слябу по ширині, обумовлена конусністю кристалізатора. Крім того, поліпшується форма кромки слябу. Високошвидкісна реверсивна чорнова кліть 8 розрахована на обтиснення слябу товщиною 70-90 мм до товщини 30...45 мм.

Обігріваний шлеппер 9 застосовується для підтримки постійної температури по всій довжині розкату при його подачі в чистову групу клітей 11. Шлеппер також забезпечує збільшення буферного часу (воно становить більше 60 хвилин). Усі агрегати 6 видалення окалини оснащені вхідними й вихідними тягнучими роликками, забезпечена можливість циркуляції води. У барабанних ножицях 10 призначених для різання сталі товщиною до 45 мм, застосовані леза спеціальної форми для обрізки переднього й заднього кінців.

На шестиклітьовому чистовому стані 11 використана система, що забезпечує можливість безпрограмної прокатки й зміни товщини штаби на 30%. Кожна чистова кліть оснащена пристроями осьового переміщення робочих валків на  $\pm 150$  мм і їх противозгибу. Стан обладнаний гідравлічною системою регулювання товщини штаби з автоматичним керуванням, гідравлічною системою регулювання міжклітьових натягів з петлетримачами, оснащеними тензодатчиками, які дозволяють постійно тримати натяг штаби під контролем, системою регулювання теплової опуклості валків і ін.

Погружний стакан виконан у вигляді єдиної деталі, що дозволило запобігти підсмоктуванню повітря й виключає турбулентність потоку сталі в кристалізаторі й окиснення металу. Застосований вертикальний кристалізатор, позначений Н' або HSHQ (High Speed High Quality Mould - висока швидкість лиття й висока якість металу) [8]. На мал.1.6. дана схема кристалізатора із заглибною склянкою й формуючими роликками.

Кристалізатор оснащений термopарамі. Передбачена система керування рівнем рідкого металу. Регулювання відбувається за рахунок зміни положення штанги стопорного затвору проміжного ковша. Можлива перебудова ширини слябу в процесі розливання шляхом переміщення

вузьких граней кристалізатору. «М'яке» обтиснення сприяє поліпшенню як поверхні, так і внутрішньої будови зливка.

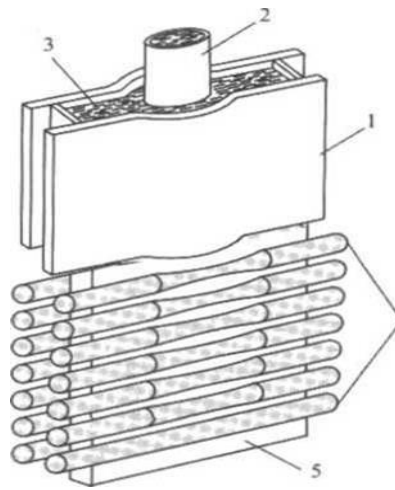


Рис.1.6. Кристалізатор Н<sup>2</sup> із заглибною склянкою й формуючими роликками:

- 1 - кристалізатор; 2 – погрузний стакан; 3 -поверхня рідкого металу;  
4 -формуючі ролики; 5 – сформований злиток.

Форма кристалізатора фірми Danieli формує опуклий по обидва боки зливков, який далі у формуючих роликах поступово здобуває прямокутний поперечний переріз. Гідності кристалізатора такої форми:

- менша вірогідність появи тріщин на поверхні слябу (обумовлене профілем заливального каналу);
- більша площа дзеркала металу, що підвищує ефективність дії застосовуваних при розливанні сумішей;
- великий обсяг металу в кристалізаторі, що запобігає турбулентності металу;
- запобігання утвору «містків» між погрузним стаканом й стінками кристалізатору;
- оптимальний розподіл струменя металу, що забезпечує рівномірні температурні умови затвердіваючого металу;

- створюється можливість розливання будь-яких марок вуглецевих сталей ( $0,61 > 3 \cdot 0,06\%$ ), а також низько- і високолегованих, що не ржавіють і кремєнистих.

У результаті на установці фірми Danieli можна отримувати штабу товщиною 1 мм із розмірними допусками, що становлять  $1/4$  розмірних допусків по ASTM. Установки, виконані по даному принципу, прийняті фірмою Algoma Steel для заміни існуючих агрегатів безперервного розливання й прокатки

## **1.2 Недоліки та переваги розглянутих станів**

Ще на початку 90-х років по відношенню до перспектив виробництва гарячекатаної листової продукції були різні, найчастіше суперечливі оцінки. Одна з точок зору полягала в тому, що значимість традиційних станів гарячої прокатки штаби зменшується, і вони повинні бути збережені й призначені тільки для прокатки важкодеформуючих сталей. Масове виробництво більшості марок сталі повинне здійснюватися на сполучених тонкослябових ливарно-прокатних агрегатах.

Як показав представлений аналіз стану сучасного листопрокатного виробництва, будівництво широкоштабових станів, що реалізують традиційну технологію гарячої прокатки, і реконструкція діючих агрегатів не дозволяють досягти значного поліпшення якості продукції й знизити витрати енергоресурсів і матеріалів на тонну придатного (ефективність традиційного прокатного виробництва практично досягла стадії насичення). Це є найважливішим стимулом для розвитку тонкослябових ЛПА.

Удосконалення технології лиття в першу чергу було спрямовано на зменшення товщини заготівлі з метою виключення з виробничого ланцюжка найбільш енергоємних процесів - прокатки й нагрівання заготівлі. Більше тісне з'єднання двох етапів процесу вдалося реалізувати саме в сполучених

тонко слябінгових ливарно-прокатних агрегатах, що дозволило одержати наступні економічні переваги:

- знизити капіталовкладення;
- скоротити час проходження металу в циклі виробництва;
- збільшити оборотність капіталу й знизити складські витрати;
- забезпечити економічне виробництво партій малого розміру;
- знизити витрати енергії.

У цей час якість гарячекатаної штаби з агрегатів для виливки тонких слябів уже не відрізняється від якості штаби, одержуваної традиційним способом. Завдяки оптимальним умовам завдання тонкого слябу в прокатну групу сполученого ливарно-прокатного агрегату (рівномірний розподіл температури по всій довжині й ширині тонкого слябу) досягається навіть трохи краща, чим при традиційній технології, точність по товщині, профілю й ширині штаби.

Слябінгова технологія виробництва штаб має ряд недоліків, у числі яких:

- невелика швидкість лиття заготівлі; необхідність установки великої кількості клітей для пластичної деформації металу в кінцеву штабу;
- значні втрати електроенергії на здійснення пластичної деформації;
- порівняно більші втрати металу у вторинну окалину на «протязі всього ланцюга перетворення сляба в штабу.

Прагнення до усунення цих недоліків привело до створення ливарно-прокатних комплексів (ЛПК), що роблять штабу й з слябів (товщиною 25 - 30 мм).

Успіхи в створенні сучасних МНЛЗ із високим рівнем автоматизації й керування дозволили з урахуванням досягнень у виплавці чистої сталі, попередження її забрудненні при безперервному розливанні й ушкодження

металу при кристалізації, направляти литі заготівлі без огляду в безперервний стан (прямий прокат), зберігаючи тепло лиття [7].

Можливість виливки тонких слябів, зниження загальної гарячої деформації й одержання готової гарячекатаної листової сталі в єдиній технологічній лінії означало появу нової стадії розвитку металургії - ЛПК.

При переході до сучасних МНЛЗ криволінійного (радіального) типу значно ускладнилася технологія розливання й конструкція машин. При створенні ЛПК вирішували основні проблеми: безпеку безперервного розливання, висока зовнішня й внутрішня якість штаб, узгодження роботи встаткування в умовах низької швидкості лиття й високої швидкості прокатки.

Тонкослябовий ЛПА на даному етапі розвитку металургії - агрегат для виробництва гарячекатаних штаб загального призначення при обсязі виробництва до 800 тис. т у рік. Їхнє створення визнається недоцільним лише в наступних випадках [6]:

- при відсутності стовідсоткової гарантії якості слябів, що виливаються;
- при необхідній продуктивності понад 1,5 млн т у рік;
- при виробництві гарячекатаного листа з легованих, електротехнічних марок сталі й підкату для цехів жерсті.

За таких умов краще будівництво традиційних станів з товстослябовими МНЛЗ.

Призначення технологічної лінії тонкослябових ЛПА, реалізованих на металургійних міні-заводах - виготовлення гарячекатаної штаби максимально широкого сортаменту, здатної конкурувати по якості із продукцією металургійних комбінатів при менших витратах на виробництво.

У порівнянні із традиційними комплексами МНЛЗ-ШСГП ливарно-прокатні агрегати мають наступні головні переваги:



- зниження питомих капітальних витрат до 81 % при використанні однострумкової й до 70 % при двухструмковій тонкослябовій МНЛЗ;
- скорочення часу будівництва й освоєння проектної потужності;
- зниження витрат на оплату праці і виробничих витрат на тону готової продукції;
- компактність, тобто відносно невелика довжина технологічної лінії й площа, займана ЛПА;
- максимальна наближеність до споживачів виробленої продукції.

Лінія лиття й прокатки тонких слябів має високу гнучкість із погляду виробничої потужності й дозволяє одержувати продукцію таких розмірів і з таких марок сталі, прокатка яких не може бути забезпечена на звичайних листових станах. У результаті забезпечується можливість організації ефективного виробництва щодо малих партій продукції для умов регіонального ринку шляхом вибору найбільш підходящої для конкретних умов будівництва схеми міні-заводу або реконструкції діючого підприємства. Так, наприклад, розробка й впровадження технології CSP відкрило нові можливості у виробництві гарячекатаних штаб у діапазоні товщин менше 2 мм, одержуваних усього лише кілька років тому вийнято в процесі холодної прокатки.

Уже перший досвід експлуатації описаного в пункті 1.1.3. ЛПМ дозволив виявити його недоліки [8].

Недоліки однострумкового ЛПМ фірми SMS:

- велика довжина прохідної печі;
- мала ємність буфера;
- можливий зсув слябу з осі руху в печі;
- неможливість редукування слябів у лінії прокатки;
- недостатнє завантаження прокатного стану (приблизно на 60%);
- неможливість видалення з технологічної лінії слябів з дефектами й використання холодного посаду їх після ремонтів.

Із представлених матеріалів видно, що в ЛПМ фірми Danieli багато в чому використані елементи ЛПМ фірми SMS. У зв'язку із цим збереглися й зазначені вище недоліки, але деякі з них були враховані..

При розробці й конструюванні нової тонкослябової МНЛЗ фірма Danieli сформулювала в такий спосіб:

- висока якість поверхні й структури матеріалу слябів;
- висока гнучкість відносно сталей, що розливаються, і експлуатаційної швидкості лиття, тобто широкий діапазон можливостей без якого-небудь погіршення якості слябів і без збільшення ризику прориву рідкого металу;
- оптимізовані умови експлуатації;
- одержання готового продукту з високими механічними властивостями.

Ці вимоги були виконані завдяки проведенню наступних конструктивних заходів [6].

1. Розроблена нова концепція кристалізатора для швидкого лиття. Застосований так званий Н2-кристалізатор (мідна пластина з наповнюваним каналом великого обсягу, спрофіліруваним таким чином, щоб запобігти появі внутрішніх напружень, і комплект формуючих валків, розташованих безпосередньо за кристалізатором).

2. Оптимізоване підведення рідкої сталі від проміжного ковша до кристалізатора шляхом спеціального виконання погрузного сталерозливного стакану й штанги стопора.

3. Застосоване "м'яке" обтиснення злитка із ще рідкою серцевиною з використанням системи визначення положення вершини рідкої серцевини заготовки.

4. Застосований захист від проривів рідкого металу.

5. Використана спеціальна система видалення окалини.

6. Виконане оптимізоване регулювання рівня рідкого металу в кристалізаторі.
7. Оптимізований режим хитання кристалізатора.
8. Застосовані охолоджувані ролики по всій довжині литого-безперервно-литого зливка. Виконане математично кероване охолодження слябу водоповітряним туманом.

Реалізація цих заходів дозволила фірмі Danieli створити машину безперервного лиття тонких слябів, що характеризується високою якістю продукції й продуктивністю.

### **1.3 Вибір варіанту проектованого стану**

У зазначених умовах завдання металургійних заводів з повним циклом буде полягати в об'єднанні сучасних технічних можливостей з економічними структурами підприємств середнього масштабу й скороченні тим самим умовно постійних витрат.

У 90-ті роки серед замовлень на нові установки однозначно переважала тенденція до сполучених тонкослябовим ЛПА. Якщо спочатку агрегати цього типу реалізовувалися тільки на сталеплавильних міні-заводах, тобто на заводах з дуговою піччю, МНЛЗ і прокатним цехом, то в останні роки їх почали будувати й на металургійних заводах з повним циклом з киснеконвертерним цехом. Сортамент матеріалів, що розливаються, і що прокатуються, також розширився, а товщина готових штаб постійно зменшувалася. Одержувана тонка гарячекатана штаба усе більше заміняє холоднокатану.

У цей час застосовуються всілякі компонування тонкослябових ЛПА, які мають як загальні, так і специфічні технологічні й конструктивні ознаки. Класифікацію цих агрегатів доцільно здійснювати по типу застосовуваного встаткування й характеру технологічних операцій по ділянках [3]. Усі відомі

в цей час компонування тонкослябових ЛПА мають три основні ділянки: безперервного лиття, передачі й прокатки.

Призначення першої ділянки – виробництво литого-безперервно-литого напівпродукту у вигляді тонкого сляба або товстої штаби з певними геометричними розмірами й структурою матеріалу.

Устаткування ділянки безперервного лиття визначає розміри поперечного перерізу, структуру, швидкість видачі литому заготовки, продуктивність ЛПА в цілому і тому суттєво впливає на склад обладнання наступних ділянок агрегату.

На другому етапі обтиснення починається тоді, коли тонкий сляб має вже затверділу серцевину. Мінімальне значення опору деформації тільки що затверділого слябу дозволяє досягти обтиснення по товщині до 60%, причому за допомогою всього декількох пар роликів діаметром 310 мм, які одночасно сприяють збільшенню швидкості виходу заготовки до 25 м/хв. Призначення другої ділянки – забезпечення погодженої роботи МНЛЗ і прокатного стану, підготовка металу до прокатки з урахуванням стану поверхні, теплового балансу, а також здійснення його раціонального транспортування з необхідним нагромадженням перед чистовою групою клітей. Для цього на ділянці встановлюють пристрою переміщення, нагрівання й очищення від окалини, що поступила з першої ділянки заготовки, а також устаткування для її порізки, нагромадження й формозміни.

У ЛПА використовують два способи передачі литої заготовки: дискретний і безперервний.

Дискретний спосіб передбачає в процесі видачі на ділянку передачі тонкого слябу, що безупинно відливається, його порізки на окремі штаби, питома маса яких (на одиницю ширини) повинна становити не менш 18 кг/мм. У зв'язку з тим, що в процесі передачі необхідно зберегти температуру вихідного із МНЛЗ із низькою швидкістю лиття ( до 0,1 м/с) тонкого слябу, необхідними елементами на ділянці передачі є нагрівальні пристрої. Вони

забезпечують вирівнювання температури в поздовжньому й поперечному напрямках. На відомих ЛПА використовують прохідні печі з газовим підігрівом, індуктори або їх комбінації [8].

Безперервний спосіб передбачає рух металу « нескінченною штабою» від МНЛЗ до моталок. Поділ слябу передбачений безпосередньо перед цими моталками або на вході в попередню їм зону охолодження прокатоної штаби. Її змотування можливе тільки після попередньої деформації тонкого слябу. Така деформація необхідна, по-перше, для пророблення литої структури, і, по-друге, для зменшення товщини заготовки до величини, прийнятної для змотування (15...40 мм). При товщині штаби після попередньої деформації (25...40 мм) рекомендовано змотування на моталках типу «Coilbox», для більш тонких штаб (15...25 мм) внаслідок меншої твердості рулону застосовують барабанні грубні печні типу Cremona box[8].

Третя ділянка призначена для одержання готових штаб із заданими розмірами й властивостями. Загальним для всіх ЛПА є наявність прокатного стану, що відводить рольганга з установкою охолодження й однієї або двох кінцевих моталок. Може бути також установлене різне додаткове встаткування для порізки, обробки й термообробки прокату. У відомих компонованнях ЛПА для прокатки тонких слябів застосовують безперервні групи клітей, одноклітьові, реверсивні стани або стани спеціальної конструкції, призначені для зверх обтисків.

У випадку застосування безперервної групи на ділянці встановлюють від чотирьох до семи клітей. Кількість клітей залежить від товщини й ширини литої заготовки, геометричних параметрів готової штаби, сортаменту по марках сталі й кількості литтєвих струмків.

При додаванні другого ливарного струмка й відповідно значному скороченні пауз при прокатці штаб, а також при зменшенні товщини кінцевої товщини штаби до 2 мм потрібна установка п'ятої кліті.

Швидкісний режим прокатки й характер руху штаби залежить від

типу стану. У випадку застосування стану зверх обтисків або безперервної групи клітей штаба прокочується з постійними швидкостями в часі й рухається в одному напрямку. При використанні стану Стеккеля характер руху штаби реверсивний з мінливою швидкістю [6].

Для розв'язку проблеми узгодження швидкісних режимів лиття й прокатки, а також підтримки необхідної температури, прокатуваної штаби, фірмами-розроблювачами ЛПА запропоновані й реалізовані різні варіанти розливно-прокатних установок, що відкрили нові можливості у виробництві гарячекатаних штаб у діапазоні товщин, одержуваних до цього винятково холодною прокаткою.

Лідером в області розробки й промислового впровадження тонкослябових ЛПА є фірма Schloemann Siemag, що розробила технологію CSP (Compact Strip Production – компактне виробництво штаби) [8].

На фірмі були розроблені технології для цілого ряду установок, що передбачають дискретну передачу заготовки з використанням у якості проміжного накопичувача нагрівальну піч із роликівим подом, яка призначена для узгодження різних робочих швидкостей МНЛЗ і прокатного стану й підтримки необхідної температури заготовки.

При розробці базової установки розміри печі вибиралися з розрахунку, щоб при всіх теоретично можливих швидкостях розливання температура штаби на виході з печі становила  $1100^{\circ}\text{C}$ . З обліком можливих аварійних ситуацій розрахункова довжина печі прийнята рівної 70 м, що більше чому довжина безперервно-ливої заготовки (50 м), при якій можна реалізувати задану питому масу рулону 20 кг/мм ширини штаби. Якщо до довжини печі додати довжину заготовки, то довжина печі складе 120 м. Таким чином, піч зможе ухвалювати литу заготовку, порізану на потрібну довжину, і нагрівати її до  $1100^{\circ}\text{C}$  при будь-яких умовах роботи МНЛЗ. У результаті прокатний стан стає не пов'язаним із МНЛЗ через штабу, тому швидкість прокатки може бути підвищена.

Продуктивність запропонованих ЛПА становить 1...2 млн. тонн у рік .

Підтримка конкурентоспроможності продукції диктує необхідність постійного вдосконалення ШСГП із метою підвищення якості продукції ( по точності, механічних властивостях і стану поверхні), розширення розмірно-марочного сортаменту, удосконалювання керування профілем і температурою, а також забезпечення високому ступеня автоматизації, зниження виробничих витрат.

Значна частина встаткування стану гарячої прокатки 1700 ММК ім. Ілліча морально застаріло й фізично зношене. Для продовження строків експлуатації необхідна реконструкція встаткування й удосконалювання технології гарячої прокатки штаб. Подальша ефективна робота стану можлива тільки при забезпеченні конкурентоспроможності його продукції на світовому ринку за рахунок розширення сортаменту, підвищення якості штаби й рулонів

З метою поліпшення якості продукції й зниження витрати енергоресурсів у моїй дипломній роботі було поставлено завдання сполучити ШСГП 1700 у комплексі із ЛПА .

#### **1.4 Опис технологічного процесу на самому прокатному стані**

У лініях застосована описана вище МНЛЗ. Далі встановлені ножиці для відділення сляба від злитка. Сляб (ще не відділений від злитка) попадає в прохідну тунельну піч, по досягненню довжини 44 м він відділяється від неперервного зливка. У печі він перебуває ~30 хв. і виходить із неї  $C = 1100-1150^{\circ}\text{C}$ . Якщо ліній дві, то сляб попадає в паром, а потім у піч витримки (якщо лінія одна - те відразу в піч витримки). Довжина печі витримки 48 м, температура підігріву до  $1100-1150^{\circ}\text{C}$ . Печі індукційного нагрівання.

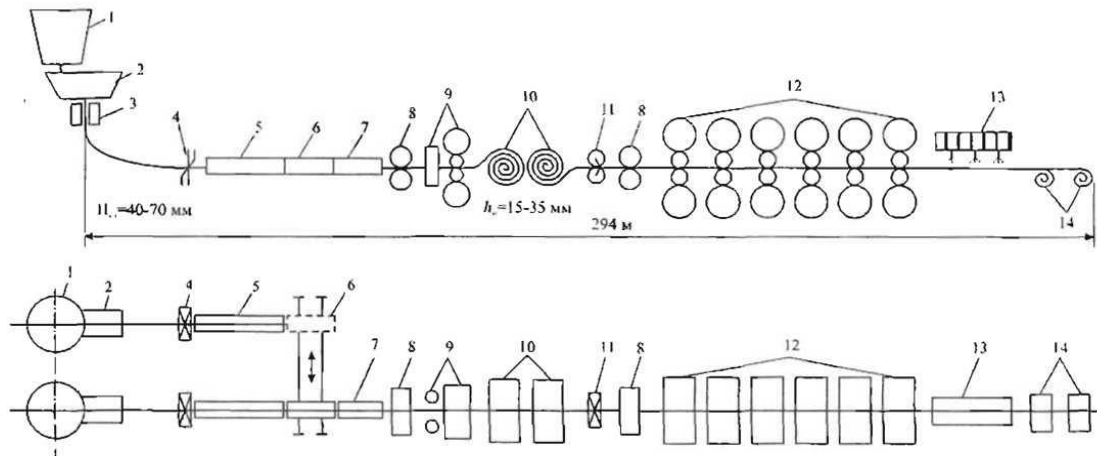


Рис.4.1. Схема розташування основного встаткування ЛПА

- 1- розливний ківш; 2 - проміжний ківш; 3 - кристалізатор; 4 - ножиці;  
 5 – тунельна піч ; 6 - паром; 7 - піч витримки (термостат); 8 -  
 окалиноломач; 9 - універсальна кліть; 10 - ППУ; 11 - летучі ножиці;  
 12 - чистова група клітей; 13 - душуюча установка; 14 - моталки

Після печей впливає окалиноломач, гідрозбив окалини й чотирьохвалкова універсальна кліть. Ця кліть може видавати товщину розкату 35-18 мм, а вертикальні валки підвищують точність по ширині й прокочують клинові розкати при зміні ширини зливка в кристалізаторі при розливанні сталі. Після чого розкат змотують на ППУ й розмотують після нього. Далі встановлені летучі ножиці для обрізки кінців і розрізання штаби в аварійних ситуаціях. Знову впливає окалиноломач, гідрозбив окалини й чистова група клітей кварто.

#### Характеристика валків клітей чистової групи

Довжина бочки робочих валків, мм.....	1700
Діаметр робочих валків клітей, мм:	
1-3.....	633
4-6.....	633
Діаметр опорних валків, мм.....	1300
Довжина бочки опорних валків, мм.....	1700



Припустима сила клітей, МН:

1-3 .....	40
4-6.....	30

Після прокатки штаби в безперервній групі штабу по рольгангу рухається до душируючої установки, де штаба прохолоджується до температури, що дозволяє змотати штабу в рулон і одержати потрібну дисперсність зерен у металі. Отже, після душируючої установки стоять дві групи моталок У процесі проходження штаби від кліті до кліті, температура металу знижується за рахунок відбору тепла навколишнім середовищем (водою й валками). Інтенсивність зниження температури по клітях чистової групи тим більше, чим менше товщина штаби.

### **1.5 Опис технології виробництва на МНЛЗ**

МНЛЗ містить у собі сталерозливний 1 і проміжний 2 ковші, водооходжуваємий кристалізатор 3, систему вторинного охолодження, пристрою для витягування заготовки із кристалізатора, устаткування для різання й переміщення злитка [7].

Після випуску металу зі сталеплавильного агрегату, доведення сплаву по хімічному складу й температурі на агрегаті ківш-піч (АКП), сталерозливний ківш переміщається ливарним краном на поворотний стенд МНЛЗ. Поворотний стенд - обертова конструкція із двома позиціями для установки ковшів. Після спустошення сталерозливного ковша в проміжний ківш у процесі розливання, стенд повертається на 180° і повний, раніше встановлений ківш переводиться в позицію розливання в проміжний ківш. Одночасно спустошений ківш замінюється повним. У такий спосіб забезпечується наявність розплавленого металу в проміжному ковші.

Після відкриття шибера ковша 1 рідкий метал починає надходити в проміжний ківш 2. Проміжний ківш є свого роду буфером між

сталерозливним ковшем і кристалізатором 3. Рівень металу перед стопором розливання регулюється заслонкою 4. Після відкриття стопора 5 (стопорний механізм дозволяє плавно регулювати потік металу в кристалізатор, підтримуючи в ньому постійний рівень) із проміжного ковша метал надходить у кристалізатор. Кристалізатор являє собою водоохолоджуючу конструкцію, яка за допомогою сервоклапана робить вертикальні коливання, для запобігання застигання металу на стінках кристалізатора й запобігання утвору тріщин [7].

Залежно від конструкції МНЛЗ розміри кристалізатора можуть варіюватися [8]. У кристалізаторі відбувається застигання стінок формованого зливка (наприклад, сляба). Далі, під впливом тягнучих роликів 7 сляб попадає в зону вторинного охолодження (криволінійна ділянка струмка), де на метал через форсунки розприскується вода.

Схема установки безперервного лиття.

- 1 - Ківш подачі рідкого металу; 2 - проміжний ківш; 3 – кристалізатор;
- 4 – заслонка; 5 – стопор; 6 - зона кристалізації; 7 - тягнучі ролики;
- 8 - зона початку кристалізації; 9 - подача охолодної води.

Для пуску процесу безперервного лиття, перед відкриттям шиберу на пром-ковші, на радіусну ділянку струмка заводиться «запал», у такий спосіб у районі кристалізатора утворюється свого роду кишень. Після наповнення цієї порожнини металом починається витягування «запалу». На кінці радіусної ділянки розташований механізм відділення запалу. Після відділення вона відводиться рольгангом на більшій швидкості, чимую швидкість розливання.

Сталерозливні ковші ємністю 150... 160 т подають на ливарну ділянку зі сталеплавильного цеху. Випускна склянка ковша обладнана ущільненням, яке при тиску на безстопорний затвор виключає проникнення повітря.

Проміжний ківш ємністю 28 т розрахований на перебування в ньому металу протягом 8...12 хв для слябів усього діапазону ширини при максимальній швидкості лиття. Рівень розташування проміжного ковша можна змінювати за допомогою піднімального пристрою електроприводом, що дозволяє точно встановлювати глибину його занурення.

Кристалізатор МНЛЗ працює як теплообмінник, завдання якого полягає у швидкому відводі тепла від сталі, що проходить через нього. Хитання кристалізатора здійснюється від чотирьох ексцентриків частотою 66 ходів у хвилину. Хід становить  $\pm 3$  мм. Рівень металу в кристалізаторі регулюється з використанням радіоактивних ізотопів і підтримується з точністю в межах  $+3$  мм. Висока частота хитань при максимальній швидкості лиття знижує витрату сталерозливної суміші до  $0,1$  кг/м<sup>2</sup> у порівнянні з  $0,3$  кг/м<sup>2</sup> при звичайному литті.

Для введення затратки й для легкого відділення оболонки струмка під час прориву, кристалізатор відкривається ще на 150 мм. Прориви викликають ушкодження тільки на кристалізаторі й сегменті 1, які у вигляді одного вузла можна вилучити з розливної машини й знову змонтувати за 20 хв.

Ширину й конусність кристалізатора можна регулювати за допомогою дистанційного керування, вони попередньо встановлюються за допомогою приводної системи по команді з розливного поста керування. Під час роботи оператор з поста керування може встановити нову ширину або провести її корегування ширини.

Рівень заповнення кристалізатора контролюється за допомогою радіоактивного датчика й регулюється за допомогою гідравлічного стрижня, що приводиться, стопора промковша з точністю до  $\pm 2$  мм [8].

Тунельна піч із роликівим подом являє собою єднальний елемент між розливною машиною й станом гарячої прокатки.

Піч виконує наступні основні функції [8]:

- прогрів і вирівнювання температури сляба, що надходить із температурою 950... 1050 °С, до рівномірної температури, що становить по всій довжині й ширині 1100...1150 °С;
- поділ процесу розливання й прокатки (різні швидкості);
- створення буфера перед прокатним станом, що дозволяє проводити перевалку робочих валків без зменшення швидкості розливання.

Через майже зроблену рівномірність температури по ширині, товщині й довжині сляба наступний процес прокатки протікає з постійною швидкістю без корегувальних заходів.

Така піч не має більших можливостей удосконалювання відносно економічності процесу й оптимізації якості продукції. Єдино доцільним представляється подальше зменшення втрат на холостому ході в результаті конвекції на стінках печі й водяного охолодження роликів. Крім того, необхідне збільшення стійкості грубних роликів.

Конструкція грубних роликів у печах усіх фірм - виготовлювачів грубого встаткування аналогічна. На водоохолоджуючій трубі закріплені ходові кільця з жаростійкого матеріалу, на які опираються тонкі сляби під час транспортування. Для запобігання перегріву труби й небажаного відтоку тепла через неї проміжки між кільцями необхідно теплоізулювати.

Оскільки в минулому така ізоляція часто порушувалася, була розроблена нова стратегія теплоізоляції. В одному із запропонованих розв'язків ізолюючий матеріал заливають у проміжки між кільцями й утримують У-образними анкерами, привареними до основної труби. Згідно з іншим рішенням, пропонується напиляти ізоляційну масу й обмотувати її вогнетривкими шнурами за певною схемою. Для підвищення терміну служби й щоб уникнути настилу пропонується безпосереднє охолодження кілець водою. Зрозуміло, що несучі труби необхідно ізолювати й у цьому випадку.

## 1.6 Опис основного устаткування

Установлена на заводі фірми Danieli машина для безперервного лиття тонких слябів має вертикально-криволінійну конструкцію. На цій машині ллють сляби товщиною 50...90 мм і шириною 800...2300 мм (на виході із кристалізатора) зі швидкістю 2,8...75 м/хв. Товщина сляба може бути зменшена за технологією "м'якого обтиснення", тобто обтиснення при ще не затверділій серцевині рівномірно по довжині безперервно-литого зливка до остаточного значення товщини 35...70 мм.

Основні технічні параметри МНЛЗ, установлені на заводі фірми Danieli, наведені нижче.

Оскільки характер течії рідкої сталі визначається взаємодією погрузного сталерозливного стакану й кристалізатора з металом, розробка конструкції такого стакану тісно пов'язана з дослідженням конструкції кристалізатора .

### Технічні характеристики МНЛЗ для лиття тонких слябів

Параметр:	Характеристика:
Товщина сляба, мм	90...50; 70...35
Ширина сляба, мм	800...1200; 1100...1600; 1500...2300
Регулювання рівня дзеркала металу	Стопорна штанга з гідроприводом і датчик рівня
Захист від прориву металу	Термопара й спеціальний алгоритм
Хитання	Гідропривід
Криві хитання	Синусоїдальна, форма зубів пилки
Тип МНЛЗ	Вертикальна з вигином заготовки
Напрямяюча під кристалізатором	Опорні ролики або ґрати
Верхня зона ділянки охолодження	Ролики з безступінчастим регулюванням відстані й конусності в процесі розливання (гідравлічне)

Секції вторинного охолодження	Такі ж ролики
Швидкість лиття, м/хв	2,8...7,5
Затравка	Гнучка стрічка (з підведенням знизу)
Погружний сталерозливний стакан	Цільний з однієї деталі
Вторинне охолодження	Водоповітряний туман
Охолодження роликів	Через осьові отвори, окремо від системи охолодження сляба

Оптимізацією геометрії (форми, розмірів кута розкриття дифузора) і параметрів експлуатації (наприклад, глибини занурення) погрузного стакана, вдалось досягти наступних властивостей:

- необхідного розподілу потоків рідкого металу;
- сприятливої дифузійної поведінки рідкого металу;
- виключення розмивання кірки безперервно-литого злитка;
- вільного плину металу в напрямку до дзеркала ванни в кристалізаторі;
- спокійної поверхні ванни металу в кристалізаторі.

Погружний стакан виконано у вигляді однієї деталі, що запобігає підсмоктуванню повітря, яке може викликати розшарування потоків стали в стакані (і тим самим обумовити інтенсивну турбулентність у кристалізаторі) або привести до вторинного окиснення. Конструкція погрузного стакану аналогічна застосовуваній в традиційній слябовій МНЛЗ, а товщина вогнетривкого матеріалу обрана з урахуванням середньої тривалості лиття 9 год.

Слід зазначити, що зовнішня поверхня погрузного стакану має спеціальну форму, яка по можливості порушення плину металу через хитання кристалізатора.

Вертикальний кристалізатор  $H^2$  має випуклість по обидва боки на ділянці погрузного стакану, тобто в середині кристалізатора немає ні однієї плоскої стінки, і тонкий сляб виходить із опуклим поперечним перерізом.

Профіль сляба здобуває плоску форму тільки у формуючих роликах, розташованих безпосередньо за кристалізатором. Оптимізація конструкції кристалізатора була головним чином спрямована на зменшення зазору між кристалізатором і безперервно-литим злитком. Збільшений зазор значно обмежує теплообмін у кристалізаторі й негативно впливає на швидкість розливання, підвищуючи ймовірність прориву рідкого металу.

Кристалізатор обладнано декількома термопарами з метою забезпечення всебічного контролю температури (система запобігання проривів рідкого металу BPS). Спеціальна система керування, програмувальна від блоків пам'яті, спостерігає за температурними сигналами й впливає згідно із заданим алгоритмом. Завдяки такій системі число проривів (індекс проривів) рідкого металу значно скоротилося.

Змащення кристалізатора забезпечується сталерозливною сумішшю, хімічний склад якої, в'язкість і плавильні властивості також були досліджені з метою забезпечення оптимальної якості поверхні для кожної марки, що розливається, стали.

Слід зазначити, що регулювання рівня дзеркала рідкого металу в кристалізаторі має істотне значення для процесу затвердіння. Будь-яке коливання дзеркала викликає дефекти поверхні злитка, наприклад, у вигляді нерівномірних і закатаних слідів хитання або шлакових включень. У зв'язку із цим передбачена система керування рівнем дзеркала рідкого металу з використанням сервопривода. У цю систему входять електронний лінійний датчик переміщення, сервоциліндр із пропорційним електромагнітним клапаном швидкого спрацьовування й радіоактивний (або працюючий за принципом вихрових струмів) сигналізатор рівня рідкого металу. По сигналах показника рівня рідкого металу й датчика переміщення зливка проводиться регулювання подачі сталі із проміжного ковша (впливом на штангу стопорного затвора) з таким розрахунками, щоб установлений рівень підтримувався дуже точно.

Охолодження кристалізатора регулюється автоматично за допомогою контуру, що враховує різні умови охолодження усередині сляба, на його поверхні й на вузьких гранях.

Хитання кристалізатора здійснюється від гідроприводу. Можуть бути обрані закони руху по синусоїді, по пилкоподібній, а також по трикутній кривій.

Можлива зміна ширини сляба в процесі роботи МНЛЗ, оскільки вузькі грані кристалізатора можна переміщати за допомогою електромеханічного привода.

Тунельна піч із роликівим подом являє собою єднальний елемент між розливною машиною й станом гарячої прокатки.

За індуктором установлений пристрій гідрозбиву, що забезпечує видалення окалини, що утворювався під час повторного нагрівання слябу. Гідрозбив працює автоматично, і його сопла можуть бути настроєні на різну ширину слябу.

Прокатаний лист, що виходить із кліті, відрізають потрібної довжини летучими ножицями. Вони мають два барабани, обладнані прямими ножами, і спроектовані так, що відхилення при різанні виходить мінімальним

Валки листових станів повинні задовольняти наступним основним вимогам:

- усі елементи валка повинні мати високу міцність і мінімальний допустимий вигиб, бочки;
- поверхневий робочий шар бочки валка винний мати високу твердість і зносостійкість;
- поверхневий шар бочки валка гарячої прокатки винний бути термостійким, тобто мати протидію високій температурі металу й різкій її зміні перед і після паузи;
- поверхневий шар бочки валків при холодній прокатці винний витримати без руйнування більші контактні лещата.



Чавунні валки виготовляють шляхом лиття рідкого чавуну в металевий кокіль. Такі валки мають високу якість поверхні й зносостійкості (високою твердістю). Робочі валки із чавуну з вибіленою поверхнею (ЛП, ЛШ, нікель магнієвий, двошарові ЛПХНД) застосовують на станах гарячої прокатки

Легування чавуну хромом, нікелем і молібденом підвищує його міцність, а також твердість вибіленого шару. Модифікування чавунних валків магнієм збільшує їхню міцність і пластичність. У модифікованому чавуні включення графіту мають кулясту форму й ізольований одне від одного, у той час як у м'якому чавуні вони розташовуються у вигляді пластин і лусочок, часто незв'язаних між собою, що різко знижує його механічні властивості. Міцність чавунних валків істотно менше, ніж сталевих валків.

Сталеві валки, як більше дорогі, застосовують у тих випадках, коли за умовами міцності не можуть бути використані чавунні (опорні валки, робочі валки чорнових клітей листових і штабових станів гарячої прокатки), валки станів холодної прокатки. По хімічному складі сталеві валки бувають вуглецеві й леговані зі сталей 50ХН, 60ХН, 55Х, 60ХГ, 9Х2, 9ХМФ. Робочі валки суцільно ковані «сирі» (чорнові кліті станів гарячої прокатки) і із загартованою поверхнею до твердості 95-100HSD (стани холодної прокатки). Опорні валки суцільно ковані з твердістю загартованої поверхні до 45-100HSD (листові, штабові стани гарячої прокатки) і ковані складові (бандажування). Складові валки мають вісь зі сталі 55ХН, 60ХГ, 60ХН, 40ХНМА й бандаж зі сталі 9ХФ із загартуванням до твердості 80-85HSD. Як треба з наведеного, твердість робочого валка вище, ніж твердість опорного валка, що виключає перенос дефектів поверхні опорного валка, що виникають у процесі експлуатації, на поверхні робочого валка.

## 2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

### 2.1 Розрахунки кінематичних і енергосилових параметрів для одержання штаби з розмірами 1,2×1000 сталь 08Ю

Вихідний сляб  $H = 18$  мм.

Розрахунки припустимих кутів захвата.

Допустимо, що мінімально можлива температура при ході в чистовій групі клітей буде рівна  $t=1000$  °С.

Становимо таблицю попередніх обтиснень

В 1й кліті  $\varepsilon=50\%$

$$\Delta h_5 = \varepsilon \cdot h_{np} = 0,5 \cdot 18 = 9 \text{ мм}$$

В 6й кліті  $\varepsilon=9\%$

$$\Delta h_6 = h_{\kappa} \left( \frac{1}{1-\varepsilon} - 1 \right) = 1 \left( \frac{1}{1-0,09} - 1 \right) = 0,09 \text{ мм}$$

$$\Delta h_{\Sigma} = h_{np} - h_{\kappa} - \Delta h_5 - \Delta h_{10} = 18 - 1 - 9 - 0,25 = 7,75 \text{ мм}$$

Тоді  $\Delta h_i / \Delta h_{\Sigma} = 0,085 + 0,089(9 - ni)^{1,3}$

$$\Delta h_2 / \Delta h_{\Sigma} = 0,085 + 0,089(9 - 6)^{1,3} = 0,456$$

$$\Delta h_3 / \Delta h_{\Sigma} = 0,085 + 0,089(9 - 7)^{1,3} = 0,304$$

$$\Delta h_4 / \Delta h_{\Sigma} = 0,085 + 0,089(9 - 8)^{1,3} = 0,174$$

$$\Delta h_5 / \Delta h_{\Sigma} = 0,085 + 0,089(9 - 9)^{1,3} = 0,085$$

$$\Delta h_2 = 7,75 \cdot 0,456 = 3,53 \text{ мм}$$

$$\Delta h_3 = 7,75 \cdot 0,304 = 2,35 \text{ мм}$$

$$\Delta h_4 = 7,75 \cdot 0,174 = 1,34 \text{ мм}$$

$$\Delta h_5 = 7,75 \cdot 0,085 = 0,65 \text{ мм}$$

$$h_1 = 18 - 9 = 9 \text{ мм}$$

$$h_2 = 9 - 3,536 = 5,464 \text{ мм}$$

$$h_3 = 5,464 - 2,357 = 3,107 \text{ мм}$$

$$h_4 = 3,107 - 1,349 = 1,758 \text{ мм}$$

$$h_5 = 1,758 - 0,659 = 1,099 \text{ мм}$$

Розрахунки швидкостей.

У чистовій групі йде безперервна прокатка  $v_6 = 20 \text{ м/с}$ .

$$v_i = v_6 h_6 / h_i$$

$$v_5 = 20 \cdot 1 / 1,09 = 18,19 \text{ м/с}$$

$$v_4 = 18,19 \cdot 1,099 / 1,758 = 11,37 \text{ м/с}$$

$$v_3 = 11,37 \cdot 1,75 / 3,1 = 6,43 \text{ м/с}$$

$$v_2 = 20 / 5,46 = 3,66 \text{ м/с}$$

$$v_5 = 20 / 9 = 2,22 \text{ м/с}$$

$$h_5 = 18 - 9 = 9 \text{ мм}$$

$$\varepsilon_1 = \frac{\Delta h}{H} = \frac{9}{18} = 0,5$$

$$\varepsilon_2 = \frac{3,536}{9} = 0,39$$

$$\varepsilon_3 = \frac{2.35}{5.46} = 0.43$$

$$\varepsilon_4 = \frac{1.34}{3.10} = 0.43$$

$$\varepsilon_5 = \frac{0.65}{1.75} = 0.37$$

$$\varepsilon_6 = \frac{0.09}{1.099} = 0.09$$

$$t_H = 1000 \text{ }^\circ\text{C}$$

Температуру в клітках чистової групи знаходимо по формулі [2]:

$$t_i = t_{nn} - \left( \frac{t_{nn} - t_k}{\frac{h_{nn}}{h_k} - 1} \right) \left( \frac{h_{nn}}{h_i} - 1 \right)$$

$$t_k = 682 + 0.35t_{nn} - 241 \cdot 10^3 / h_{10} \cdot v_{10} = 682 + 0.35 \cdot 1000 - 241 \cdot 10^3 / 1 \cdot 1200 = 831 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$t_1 = 1000 - \left( \frac{1000 - 831}{\frac{18}{1} - 1} \right) \left( \frac{18}{9} - 1 \right) = 990 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$t_2 = 1000 - \left( \frac{1000 - 831}{\frac{18}{1} - 1} \right) \left( \frac{18}{5.46} - 1 \right) = 977 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$t_3 = 1000 - \left( \frac{1000 - 831}{\frac{18}{1} - 1} \right) \left( \frac{18}{3.107} - 1 \right) = 952 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$t_4 = 1000 - \left( \frac{1000 - 831}{\frac{18}{1} - 1} \right) \left( \frac{18}{1.758} - 1 \right) = 908 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$t_5 = 1000 - \left( \frac{1000 - 831}{\frac{18}{1} - 1} \right) \left( \frac{18}{1.099} - 1 \right) = 847^\circ\text{C}$$

$$t_6 = 831^\circ\text{C}$$

Табл. 6 Режим деформації штаби 1,2×1000 сталь 08ю

№ кліті	H мм	h мм	Δh мм	ε, %	V м/с	t°С
1	18	9	9	50	2,22	990
2	9	5,46	3,53	39,3	3,66	977
3	5,46	3,10	2,35	43,1	6,43	952
4	3,10	1,75	1,34	43,4	11,37	908
5	1,75	1,09	0,65	37,5	18,19	847
6	1,09	1	0,09	9	20	831

### Розрахунки енергосилових параметрів прокатки.

#### 1я кліть

$$\Delta h = 9 \text{ мм}$$

$$l_d = \sqrt{R\Delta h} = \sqrt{632,5/2 \cdot 9} = 53,35 \text{ мм}$$

$$h_{cc} = \frac{H+h}{2} = \frac{18+9}{2} = 13,5 \text{ мм}$$

$$l_d / h_{cc} = 53,35 / 13,5 = 3,952$$

$$u = \frac{v \cdot \varepsilon}{l_d} \qquad \varepsilon = \frac{\Delta h}{H} = \frac{9}{18} = 0.5$$

$$u = \frac{2222 \cdot 0.5}{53,35} = 20,82 \text{ c}^{-1}$$

Границя текучості металу Ст.08Ю [9]:

Хімічний склад	%
Кремній (Si)	0,05-0,17
Марганець (Mn)	0,35-0,65
Мідь (Cu)	0,25
Арсенум (As)	0,08
Нікель (Ni)	0,25
Сірка (S)	0,04
Вуглець (З)	0,05-0,11
Фосфор (P)	0,035
Хром (Cr)	0,10

Вуглецевий коефіцієнт

$$N = C + Si + Mn + Cr + Ni + Cu + Al = 0,11 + 0,5 + 0,25 + 0,25 + 0,08 + 0,1 = 1,29\%$$

Базова границя текучості:

Якщо  $N \leq 5$ :

$$\sigma_{T\delta} = 80 + 25 \left[ 1 - \left( \frac{5 - N}{4.5} \right)^{1.8} \right] = 80 + 25 \left[ 1 - \left( \frac{5 - 1,29}{4.5} \right)^{1.8} \right] = 87,34 \text{ H / мм}^2$$

$$kt = 1.66 - 1.1 \left( \frac{990,07}{400} - 2 \right)^{0.7} = 1,01$$

$$k\varepsilon = 1 + 0.43 \left( 1 - 6.3(0.5 - \varepsilon)^2 \right) = 1 + 0.43 \left( 1 + 6.3(0.5 - 0.3)^2 \right) = 1.32$$

$$ku = 1,03 + 0,1 \cdot \left( (\ln u) - 2,3 \right)^{1.5} = 1,03 + 0,1 \cdot \left( (\ln 20,82) - 2,3 \right)^{1.5} = 1,093$$

$$\sigma_T = \sigma_{T\delta} \cdot kt \cdot k\varepsilon \cdot ku = 87,34 \cdot 1,01 \cdot 1,43 \cdot 1,093 = 137,88 \text{ H / мм}^2$$

$$f_0 = 0.27 - 0.1 \left( \frac{t^\circ}{400} - 2 \right)^2 = 0.27 - 0.1 \left( \frac{990}{400} - 2 \right)^2 = 0.25$$

$$k_v = 0.76 + 0.82(1 - 0.1 \cdot v)^2 = 0.76 + 0.82(1 - 0.1 \cdot 2.22)^2 = 1.25$$

$$k_\varepsilon = 1 + 0.43(1 - 6.3(0.5 - 0.5)^2) = 1.43$$

$$k_e = 0.85 + 0.5 \cdot \varepsilon = 0.85 + 0.5 \cdot 0.5 = 1.1$$

$$k_b = 0.75$$

$$k_T = 1 + 0.43(1 - HSD/65)^2 = 1 + 0.43(1 - 70/65)^2 = 1.003$$

$$f = f_0 \cdot k_t \cdot k_v \cdot k_B \cdot k_m \cdot k_e = 0.25 \cdot 1.256 \cdot 1.43 \cdot 1.1 \cdot 0.75 \cdot 1.003 = 0.37$$

$$fn = f(0.92 + 1.27\varepsilon) = 0.37(0.92 + 1.27 \cdot 0.5) = 0.58$$

$$p_{cp} = 1.15\sigma_T(1 + 0.48fn \cdot l_d / hcc) = 1.15 \cdot 137.88(1 + 0.48 \cdot 0.58 \cdot 3.95) = 226.5H / \text{мм}^2$$

Зусилля прокатки в 1й кліті

$$P = p_{cp} \cdot l_d \cdot B = 226.5 \cdot 0.05335 \cdot 1.2 = 14.5MH$$

$$\psi = 0.51 \left( \frac{l_d}{hcc} \right)^{-0.092}$$

$$\psi = 0.51(3.95)^{-0.092} = 0.449$$

$$M = \psi \cdot l_d \cdot P = 0.449 \cdot 0.05335 \cdot 14.5 = 0.35MH$$

$$N\delta\delta = 2 \cdot 960 \cdot M_{np} \cdot v / R = 2 \cdot 960 \cdot 0.35 / 0.31625 = 4721.53кВм$$

**2я кліть**

$$\Delta h = 3.53 \text{ мм}$$

$$l_d = \sqrt{R\Delta h} = \sqrt{316.25 \cdot 3.53} = 33.44 \text{ мм}$$

$$hcc = \frac{H+h}{2} = \frac{9+5.46}{2} = 7.23\text{мм}$$

$$l_d / hcc = 33.44 / 7.23 = 4.62$$

$$u = \frac{v \cdot \varepsilon}{l_d} \quad \varepsilon = \frac{\Delta h}{H} = \frac{3.53}{9} = 0.39$$

$$u = \frac{3660 \cdot 0.39}{33.44} = 43.01\text{с}^{-1}$$

$$f_0 = 0.27 - 0.1 \left( \frac{t}{400} - 2 \right)^2 = 0.27 - 0.1 \left( \frac{977.22}{400} - 2 \right)^2 = 0.25$$

$$kv = 0.76 + 0.82(1 - 0.1 \cdot v)^2 = 0.76 + 0.82(1 - 0.1 \cdot 3.66)^2 = 1.08$$

$$k\varepsilon = 1 + 0.43(1 - 6.3(0.5 - 0.39)^2) = 1.39$$

$$ke = 0.85 + 0.5 \cdot \varepsilon = 0.85 + 0.5 \cdot 0.39 = 1.046$$

$$kb = 0.75$$

$$kT = 1 + 0.43(1 - HSD/65)^2 = 1 + 0.43(1 - 70/65)^2 = 1.003$$

$$f = f_0 \cdot k_t \cdot k_v \cdot k_B \cdot k_m \cdot k_e = 0.25 \cdot 1.003 \cdot 1.08 \cdot 0.75 \cdot 1.046 = 0.21$$

$$fn = f(0.92 + 1.27\varepsilon) = 0.21(0.92 + 1.27 \cdot 0.393) = 0.3$$

$$kt = 1.66 - 1.1 \left( \frac{977.22}{400} - 2 \right)^{0.7} = 1.04$$

$$k\varepsilon = 1 + 0.43(1 - 6.3(0.5 - \varepsilon)^2) = 1 + 0.43(1 + 6.3(0.5 - 0.39)^2) = 1.39$$

$$ku = 1.03 + 0.1 \cdot ((\ln u) - 2.3)^{1.5} = 1.03 + 0.1 \cdot ((\ln 43.01) - 2.3)^{1.5} = 1.2$$

$$\sigma_T = \sigma_{T\delta} \cdot kt \cdot k\varepsilon \cdot ku = 87.34 \cdot 1.04 \cdot 1.399 \cdot 1.207 = 153.38\text{H} / \text{мм}^2$$



$$p_{cp} = 1.15\sigma_T(1 + 0.48fn \cdot l_d \cdot / hcc) = 1.15 \cdot 153.38(1 + 0.48 \cdot 0.3 \cdot 4.62) = 293.84 \text{ H / мм}^2$$

Зусилля прокатки в 2й кліті

$$P = p_{cp} \cdot l_d \cdot B = 293.84 \cdot 0.03344 \cdot 1.2 = 11.79 \text{ MH}$$

$$\psi = 0.51(4.624)^{-0.092} = 0.44$$

$$M = \psi \cdot l_d \cdot P = 0.44 \cdot 0.03344 \cdot 11.79 = 0.17 \text{ MH}$$

$$N\partial\partial = 2 \cdot 960 \cdot M_{np} \cdot v / R = 2 \cdot 960 \cdot 0.17 \cdot 3.66 / 0.31625 = 3733.2 \text{ кВт}$$

**Зя кліть**

$$\Delta h = 2,35 \text{ мм}$$

$$l_d = \sqrt{R\Delta h} = \sqrt{316,25 \cdot 2,35} = 27,30 \text{ мм}$$

$$hcc = \frac{H+h}{2} = + \frac{5,464+3,107}{2} = 4,28 \text{ мм}$$

$$l_d / hcc = 27,3 / 4,28 = 6,37$$

$$u = \frac{v \cdot \varepsilon}{l_d} \qquad \varepsilon = \frac{\Delta h}{H} = \frac{2,35}{5,46} = 0.43$$

$$u = \frac{6437 \cdot 0.431}{27,30} = 101,61 \text{ c}^{-1}$$

$$f_0 = 0.27 - 0.1 \left( \frac{t^\circ}{400} - 2 \right)^2 = 0.27 - 0.1 \left( \frac{952,4}{400} - 2 \right)^2 = 0.26$$

$$kv = 0.76 + 0.82(1 - 0.1 \cdot v)^2 = 0.76 + 0.82(1 - 0.1 \cdot 6,437)^2 = 1,052$$

$$k\varepsilon = 1 + 0.43(1 - 6,3(0,5 - 0,43)^2) = 1,41$$

$$ke = 0.85 + 0.5 \cdot \varepsilon = 0.85 + 0.5 \cdot 0.43 = 1.06$$

$$kb = 0.75$$

$$kT = 1 + 0.43(1 - HSD/65)^2 = 1 + 0.43(1 - 70/65)^2 = 1.003$$

$$f = f_0 \cdot k_t \cdot k_v \cdot k_B \cdot k_m \cdot k_e = 0.26 \cdot 1.003 \cdot 1.052 \cdot 0.75 \cdot 1.0655 = 0.22$$

$$fi = f(0.92 + 1.27\varepsilon) = 0.22(0.92 + 1.27 \cdot 0.431) = 0.32$$

$$kt = 1.66 - 1.1 \left( \frac{952.4}{400} - 2 \right)^{0.7} = 1.1$$

$$k\varepsilon = 1 + 0.43(1 - 6.3(0.5 - \varepsilon)^2) = 1 + 0.43(1 + 6.3(0.5 - 0.431)^2) = 1.41$$

$$ku = 1.03 + 0.1 \cdot ((\ln u) - 2.3)^{1.5} = 1.03 + 0.1 \cdot ((\ln 101.61) - 2.3)^{1.5} = 1.38$$

$$\sigma_T = \sigma_{T\delta} \cdot kt \cdot k\varepsilon \cdot ku = 87.33 \cdot 1.1 \cdot 1.41 \cdot 1.38 = 188.41 H / \text{мм}^2$$

$$p_{cp} = 1.15 \sigma_T (1 + 0.48 fn \cdot l_d / hcc) = 1.15 \cdot 188.41 (1 + 0.48 \cdot 0.32 \cdot 6.37) = 428.7 H / \text{мм}^2$$

Зусилля прокатки в 3й кліті

$$P = p_{cp} \cdot l_d \cdot B = 428.7 \cdot 0.02730 \cdot 1.2 = 14.05 \text{MH}$$

$$\psi = 0.51(6.371)^{-0.092} = 0.42$$

$$M = \psi \cdot l_d \cdot P = 0.42 \cdot 0.02730 \cdot 14.05 = 0.16 \text{MH}$$

$$N\delta\delta = 2 \cdot 960 \cdot M_{np} \cdot v / R = 2 \cdot 960 \cdot 0.16 \cdot 6.43 / 0.31625 = 6252.79 \text{кВт}$$

#### 4я кліть

$$\Delta h = 1.34 \text{ мм}$$

$$l_d = \sqrt{R\Delta h} = \sqrt{316.25 \cdot 1.34} = 20.65 \text{ мм}$$

$$hcc = \frac{H + h}{2} = \frac{3.107 + 1.758}{2} = 2.43 \text{ мм}$$

$$l_d / hcc = 20.65 / 2.43 = 8.49$$

$$u = \frac{v \cdot \varepsilon}{l_d} \quad \varepsilon = \frac{\Delta h}{H} = \frac{1,34}{3,1} = 0,43$$

$$u = \frac{11377 \cdot 0,43}{20,65} = 239,05 c^{-1}$$

$$f_0 = 0,27 - 0,1 \left( \frac{t^\circ}{400} - 2 \right)^2 = 0,27 - 0,1 \left( \frac{908}{400} - 2 \right)^2 = 0,26$$

$$k_v = 0,76$$

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

$$k_e = 0,85 + 0,5 \cdot \varepsilon = 0,85 + 0,5 \cdot 0,43 = 1,06$$

$$k_b = 0,75$$

$$k_T = 1 + 0,43 \left( 1 - \frac{HSD}{65} \right)^2 = 1 + 0,43 \left( 1 - \frac{70}{65} \right)^2 = 1,003$$

$$f = f_0 \cdot k_t \cdot k_v \cdot k_B \cdot k_m \cdot k_e = 0,26 \cdot 1,003 \cdot 0,76 \cdot 0,75 \cdot 1,065 = 0,16$$

$$fn = f(0,92 + 1,27\varepsilon) = 0,16(0,92 + 1,27 \cdot 0,43) = 0,24$$

$$k_t = 1,66 - 1,1 \left( \frac{908,25}{400} - 2 \right)^{0,7} = 1,22$$

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

$$k_u = 1,03 + 0,1(\ln u - 2,3)^{1,5} = 1,03 + 0,1(\ln 239,05 - 2,3)^{1,5} = 1,59$$

$$\sigma_T = \sigma_{T8} \cdot k_t \cdot k_\varepsilon \cdot k_u = 87,33 \cdot 1,22 \cdot 1,41 \cdot 1,59 = 241,14 H / \text{мм}^2$$

$$p_{cp} = 1,15 \sigma_T \left( 1 + 0,48 \frac{fn \cdot l_d}{hcc} \right) = 1,15 \cdot 241,14 \left( 1 + 0,48 \cdot \frac{0,24 \cdot 8,49}{hcc} \right) = 548,57 H / \text{мм}^2$$

Зусилля прокатки в 4й кліті

$$P = p_{cp} \cdot l_d \cdot B = 548,57 \cdot 0,0206 \cdot 1,2 = 13,59 \text{ MH}$$

$$\psi = 0,51(8,49)^{-0,092} = 0,41$$

$$M = \psi \cdot l_d \cdot P = 0,41 \cdot 0,02065 \cdot 13,59 = 0,12 \text{ Ї}$$

$$N\delta\delta = 2 \cdot 960 \cdot M_{np} \cdot v / R = 2 \cdot 960 \cdot 0,12 \cdot 11,37 / 0,31625 = 8288,57 \text{ кВт}$$

### 5я кліть

$$\Delta h = 0,659 \text{ мм}$$

$$l_d = \sqrt{R\Delta h} = \sqrt{316,25 \cdot 0,659} = 14,43 \text{ мм}$$

$$h_{cc} = \frac{H+h}{2} = \frac{1,758+1,099}{2} = 1,42 \text{ мм}$$

$$l_d / h_{cc} = 14,43 / 1,42 = 10,1$$

$$u = \frac{v \cdot \varepsilon}{l_d} \quad \varepsilon = \frac{\Delta h}{H} = \frac{0,65}{1,75} = 0,37$$

$$u = \frac{18198 \cdot 0,37}{14,436} = 472,72 \text{ с}^{-1}$$

$$f_0 = 0,27 - 0,1 \left( \frac{t}{400} - 2 \right)^2 = 0,27 - 0,1 \left( \frac{847,27}{400} - 2 \right)^2 = 0,27$$

$$kv = 0,76$$

$$k\varepsilon = 1,38$$

$$ke = 0,85 + 0,5 \cdot \varepsilon = 0,85 + 0,5 \cdot 0,375 = 1,037$$

$$kb = 0,75$$

$$kt = 1,003$$

$$f = f_0 \cdot k_t \cdot k_v \cdot k_B \cdot k_m \cdot k_e = 0,27 \cdot 1,003 \cdot 0,76 \cdot 0,75 \cdot 1,037 = 0,16$$

$$fn = f(0,92 + 1,27\varepsilon) = 0,16(0,92 + 1,27 \cdot 0,37) = 0,22$$

$$kt = 1.66 - 1.1 \left( \frac{847,27}{400} - 2 \right)^{0.7} = 1,41$$

$$k\varepsilon = 1 + 0.43 \left( 1 - 6.3(0.5 - \varepsilon)^2 \right) = 1 + 0.43 \left( 1 + 6.3(0.5 - 0.375)^2 \right) = 1.38$$

$$ku = 1,03 + 0,1(\ln u - 2,3)^{1,5} = 1,03 + 0,1(\ln 472,72 - 2,3)^{1,5} = 1,78$$

$$\sigma_T = \sigma_{T\delta} \cdot kt \cdot k\varepsilon \cdot ku = 87,33 \cdot 1,41 \cdot 1,38 \cdot 1,78 = 305,62 \text{ H / мм}^2$$

$$p_{cp} = 1,15 \sigma_T (1 + 0,48 fn \cdot l_d \cdot / hcc) = 1,15 \cdot 305,62 (1 + 0,48 \cdot 0,22 \cdot 10,1) = 726,54 \text{ H / мм}^2 \text{ Зусилля}$$

прокатки в 5й кліті

$$P = p_{cp} \cdot l_d \cdot B = 726,54 \cdot 0,01443 \cdot 1,2 = 12,59 \text{ МН}$$

$$\psi = 0,51(10,1)^{-0,092} = 0,4$$

$$M = \psi \cdot l_d \cdot P = 0,4 \cdot 0,01443 \cdot 12,59 = 0,07 \text{ МН}$$

$$N\delta\delta = 2 \cdot 960 \cdot M_{np} \cdot v / R = 2 \cdot 960 \cdot 0,07 \cdot 18,19 / 0,31625 = 7733,79 \text{ кВт}$$

**б) кліть**

$$\Delta h = 0,099 \text{ мм}$$

$$l_d = \sqrt{R\Delta h} = \sqrt{316,25 \cdot 0,099} = 5,595 \text{ мм}$$

$$hcc = \frac{H + h}{2} = \frac{1 + 1,099}{2} = 1,049 \text{ мм}$$

$$l_d / hcc = 5,595 / 1,0495 = 5,331$$

$$u = \frac{v \cdot \varepsilon}{l_d} \qquad \varepsilon = \frac{\Delta h}{H} = \frac{0,09}{1,099} = 0,09$$

$$u = \frac{20000 \cdot 0,09}{5,595} = 321,72 \text{ с}^{-1}$$

$$f_0 = 0.27 - 0.1 \left( \frac{t^\circ}{400} - 2 \right)^2 = 0.27 - 0.1 \left( \frac{831}{400} - 2 \right)^2 = 0.27$$

$$k_v = 0.76$$

$$k_e = 0.85 + 0.5 \cdot \varepsilon = 0.85 + 0.5 \cdot 0.09 = 0.895$$

$$k_b = 0.75$$

$$k_t = 1.003$$

$$f = f_0 \cdot k_t \cdot k_v \cdot k_b \cdot k_m \cdot k_e = 0.27 \cdot 1.003 \cdot 0.76 \cdot 0.75 \cdot 0.895 = 0.138$$

$$fn = f(0.92 + 1.27\varepsilon) = 0.16(0.92 + 1.27 \cdot 0.09) = 0.143$$

$$kt = 1.66 - 1.1 \left( \frac{831}{400} - 2 \right)^{0.7} = 1.48$$

$$k\varepsilon = 0.8 + 0.2 \cdot \left( 1 - 178 \cdot (0.1 - 0.09)^2 \right) = 0.996$$

$$ku = 1.03 + 0.1(\ln u - 2.3)^{1.5} = 1.03 + 0.1(\ln 321.72 - 2.3)^{1.5} = 1.677$$

$$\sigma_T = \sigma_{T8} \cdot kt \cdot k\varepsilon \cdot ku = 87.33 \cdot 0.996 \cdot 1.48 \cdot 1.67 = 215.9 \text{ Н / мм}^2$$

$$p_{cp} = 1.15 \sigma_T (1 + 0.48 fn \cdot l_d \cdot / hcc) = 1.15 \cdot 215.9 (1 + 0.48 \cdot 0.143 \cdot 5.331) = 339.13 \text{ Н / мм}^2 \text{ Зусилля}$$

прокатки в бй кліті

$$P = p_{cp} \cdot l_d \cdot B = 339.13 \cdot 0.005595 \cdot 1.2 = 2.27 \text{ МН}$$

$$\psi = 0.5(5.331)^{-0.092} = 0.429$$

$$M = \psi \cdot l_d \cdot P = 0.42 \cdot 0.005595 \cdot 2.27 = 0.005 \text{ МН}$$

$$N\delta\delta = 2 \cdot 960 \cdot M_{np} \cdot v / R = 2 \cdot 960 \cdot 0.005 \cdot 20 / 0.31625 = 607.1 \text{ кВт}$$

**Табл. 7 Геометричні й енергосилові параметри прокатки штаб 1,2×1000  
сталь 08Ю**

№ кліті	ld, мм	ld/h <sub>ср</sub> , мм	σ <sub>т</sub> , Н/мм <sup>2</sup>	f	ρ <sub>ср</sub> , Н/мм <sup>2</sup>	P, МН	ψ	M <sub>пр</sub> , МНм	N, кВт
1	53,35	3,95	137,88	0,37	333	21,3	0,44	0,51	6889,1
2	33,44	4,62	153,38	0,21	293,8	11,79	0,44	0,17	3733,2
3	27,30	6,37	188,41	0,22	428,7	14,05	0,42	0,16	6252,7
4	20,65	8,49	241,14	0,16	548,5	13,59	0,41	0,12	8288,5
5	14,43	10,1	305,62	0,16	726,54	12,59	0,40	0,07	7733,7
6	5,59	5,33	215,9	0,13	339,1	2,27	0,42	0,005	607,11

## 2.2 Розрахунок річної продуктивності стану

Основним економічним показником роботи стану є його річна продуктивність [1].

Річне виробництво прокату визначаємо по формулі:

$$A_r = A \cdot T_{\phi},$$

де A - годинне виробництво, т/година;

T<sub>φ</sub> - фактичний час роботи в годинах;

При розрахунках годинної продуктивності листових станів гарячої прокатки розрізняють поняття практично й технічно можливої годинної продуктивності.

Годинна технічно можлива продуктивність стану рівна:

$$A = 3600 \cdot G / T,$$

де G - маса злитка, що прокатується, або заготовки, т.;

T - ритм прокатки .

У нашому випадку  $G$  – маса листа, що прокатується, яка відповідає масі металу, що заливається в ківш.

$$T = L_{\text{пк}} / V_{\text{пк}} + \tau_{\text{п}}$$

де  $L_{\text{пк}}$  - довжина листа після виходу із кліті, м.;

$V_{\text{пк}}$  – швидкість прокатки в останній кліті, м/с.;

$\tau_{\text{п}}$  – час паузи між закінченням прокатки попереднього листа й початком прокатки наступного листа, с.

Для проєктованого стану час паузи між закінченням прокатки попереднього листа й початком прокатки наступного ухвалюємо рівно 600с.

Тоді:

$$T = 6366,67 / 20 + 318,33 = 918,3$$

$$A = 3600 \cdot 60 / 918,3 = 235 \text{ т}$$

Практично можлива годинна продуктивність стану рівна:

$$A = (3600 \cdot G / T) \cdot k_{\text{и}}$$

де  $k_{\text{и}}$  - коефіцієнт використання стану.

Коефіцієнт використання стану враховує зниження продуктивності стану через різні незареєстровані дрібні затримки (наприклад, простої стану). Цей коефіцієнт неоднаковий для різних станів і має тенденцію до збільшення за рахунок внесених удосконалень, поліпшення організації праці, якості ремонту встаткування і.т.п., для листових станів значення коефіцієнта використання стану перебуває в межах 0,85-0,90. У випадку вдосконалювання ШСГП 1700 у комплексі із ЛПА застосуємо значення  $k_{\text{и}}=0,9$ .

$$A = (3600 \cdot 60 / 918,3) \cdot 0,9 = 212 \text{ т}$$

Фактичний річний час роботи стану рівно

$$T_{\text{ф}} = (24 - 1,5)(k_{\text{А}} - k_{\text{в}} - k_{\text{ед}})n_{\text{и}},$$

де  $n_{\text{и}}$  - коефіцієнт використання встаткування стану ( $n_{\text{и}} = 0,92 - 0,95$ );

$k_{\text{Г}}$  - кількість календарних днів у році;  $k_{\text{пр}}$  і  $k_{\text{кр}}$  - кількість днів відповідно на планово-запобіжні ремонти й на капітальний ремонт ( простої,



що враховуються); 24 і 1,5 - число годин у добі й на змінний профілактичний ремонт стану в добу.

Коефіцієнт використання стану  $n_{\text{и}}$  відбиває час роботи стану без обліку простоїв величиною менш  $\sim 5$  хв, які не враховується в книзі рапортів начальника зміни.

Тому що  $k_{\text{г}} = 365$  і якщо  $k_{\text{ін}} = 12$ ,  $k_{\text{кр}} = 7$ , те

$$\dot{O}_{\delta} = 22,5 \cdot 0,95(365 - 12 - 7) = 7400 \text{ ч.}$$

Розрахуємо технічно можливу річну продуктивність стану:

$$A_{\text{г}} = 235 \cdot 7400 = 1741177 \text{ т}$$

Розрахуємо практично можливу продуктивність стану:

$$A_{\text{г}} = 212 \cdot 7400 = 1568800 \text{ т}$$

## 3 МЕХАНІЧНА ЧАСТИНА

### 3.1 Характеристика робочої кліти стану

Кліть кварто складається із чотирьох горизонтальних валків, розташованих один над іншим. Прокатка відбувається тільки між двома середніми валками, які називаються робочими валками. Діаметр їх значно менше, чим у верхнього й нижнього валків. Останні служать лише опорою для робочих валків і тому називаються опорними валками [15].

Опорні валки значно збільшують твердість і міцність кліти при невеликому діаметрі й при значній довжині бочки робочих валків. Вертикальна площина, у якій розташовуються робочі валки, здебільшого небагато ( близько 10 мм) зміщується в напрямку прокатки по відношенню вертикальної площини, що проходить через осі опорних валків. Це робиться для запобігання можливого перекосу робочих валків на величину зазору в їхніх підшипниках.

Середня частина валка, що стикається з металом, що прокатується, називається бочкою. По обидві сторони бочки розташовані шийки валка, якими він опирається на підшипники. Кінцеві частини валка для з'єднання його з муфтою або шпинделем виконані в циліндричному виді.

Бочка листових валків виконується циліндричною або злегка опуклою для компенсації вигину її від зусиль прокатки.

Один з основних показників якості валка-твердість його робочої поверхні. За цією ознакою валки проектаного стану ставляться до типу твердих валків. Твердість: близько 400-600 одиниць по Бринелю(60-85 одиниць по Шору). Матеріал: загартований чавун, легована сталь.[13]

У клітей кварто здебільшого приводяться в рух тільки робочі валки. Опорні валки - холості; вони обертаються при терті об робочі валки.

Опорні валки і робочі працюють на підшипниках кочення. Під подушками опорних валків розміщені мізدوزи для виміру тиску на валки при прокатці. Для фіксації подушок в осьовому напрямку застосовані засувки, переміщувані гідроциліндрами, установленими на станині.

Роликові конічні підшипники застосовуємо з розташуванням роликів у чотири ряди. Рис. 3.1, на якому зображені чотирирядні роликові конічні підшипники.

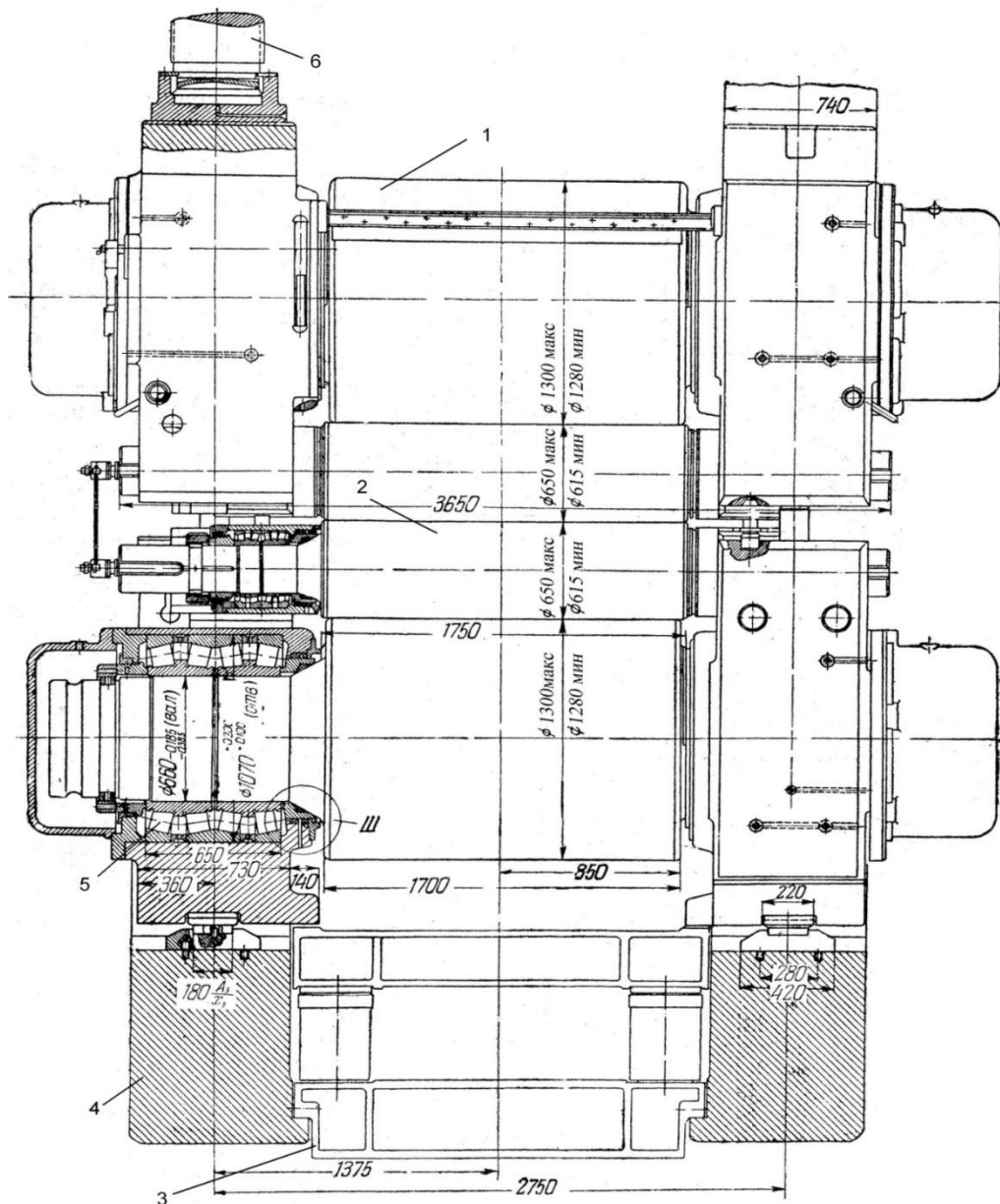


Рис.3.1. Чотирьохвалкова кліть:

1 – опорний валок; 2 – робочий валок; 3, 4 – станина; 5 – подушка з роликовим підшипником; 6 – механізм натискного гвинта.

Підшипники опорного валка, ілюструють звичайне конструктивне оформлення подібних вузлів підшипників [13]. Цей підшипник нерегульований, тобто між його конічними кільцями встановлені проміжні дистанційні кільця. Наявність останніх виключає необхідність регулювання осьового зазору при складанні підшипникового вузла й допускає тверде кріплення підшипника в осьовому напрямку на шейку й у корпусі.

Впливає, однак, що з урахуванням різниці температурних деформацій окремих деталей, можливої неточності товщини дистанційних кілець і посадкових діаметрів підшипника не слід зловживати зайво осьовим затягуванням внутрішніх кілець чотирирядного підшипника на шейку валка для того, щоб за рахунок цього внутрішні кільця підшипника могли самовстановлюватися через ролики по зовнішніх кільцях у межах наявного при цьому невеликої невідповідності розмірів.

Товщина дистанційних кілець щоб уникнути заклинювання роликів підшипника для великих підшипників береться на 0,15—0,25 мм більше відповідного зазору між конічними кільцями, заміряного під невеликим осьовим навантаженням на стенді без дистанційних кілець. Іншими словами, - передбачається осьова гра підшипника в межах 0,15—0,25 мм.[13].

Змазується підшипник через отвори, просвердлені в подушці (на кресленні не показані), і отвору в дистанційних кільцях. Передбачена також змащення шийки ( через шліци на розпирних кільцях) щоб уникнути корозії останньої й з обліком того що кільця на шейку можуть небагато повертатися.

Внутрішні кільця затягаються гайкою, яка наворачується на різьбові півкільця, покладені в проточці шейки валка. Таке кріплення має на меті виключити нарізку безпосередньо на шейку валка, наявність якої на великій деталі створює незручності в роботі.

### 3.2 Розрахунок листового валка на міцність

Використовуючи вихідні дані для кліті гарячої прокатки листа підбираємо розміри валків і перевірити міцність валків. Для цього робимо розрахунок валків на міцність при прокатці листів у чотирьохвалковій кліті [4].

Штаба, що прокочується, у першу чергу впливає на робочий валок, а через нього на опорний валок. При цьому тиск штаби  $p(y)$  на валок нерівномірний по ширині, а міжвалковий тиск  $q(y)$  - нерівномірний по довжині бочки опорного валка. Величини  $p(y)$  і  $q(y)$  і ступінь їх нерівномірності визначаються параметрами валків і шириною штаби. Нерівномірність  $p(y)$  і  $q(y)$  впливають на прогин валків, але мало впливають на міцність валків (якщо вони не мають значного виробітку). Тому розрахунки опорних валків на міцність виконуємо приймаючи силу  $P$  зосередженої по осі валків. При цьому розраховуємо напругу вигину в тілі й шийці опорного валка й напруги кручення в приводній шийці робочого валка. Момент вигину для перетину опорного валка рівний:

$$M_{ш} = P(a-L/2)/4$$

$a$  - відстань між осями шийок опорних валків ( $a=L + l_{оп}$ );

$L$  - довжина фактичного контакту робочих і опорних валків.

Так як параметр  $L$  невідомий тому для розрахунку приймаємо  $L = B_{мін}$

$B_{мін}$  - мінімальна ширина штаби, що прокочується на стані.

Тоді:

$$M_{ш} = P(a - B_{мін} / 2) / 4$$

Напруга вигину в перетині бочки валка :

$$\sigma_{из} = M_{из} / 0,1 D_{оп}^3$$

Напруга вигину в шийці опорного валка:

$$\sigma_{ш} = M_{изш} / W_{ш} = P \cdot l_{оп} / 0,4 \cdot d_{оп}^3$$

Напруга кручення в шийці робочого валка розраховуємо по формулі (напруга вигину відсутня):

$$\tau_{кр} = M_{кр} \cdot k_{\tau} / 0.2 \cdot d_{ш}^2$$

Визначаємо напругу вигину й крутіння у валках при прокатці в кліті стану 650x1300x1700 мм гарячій прокатці.

Вихідні дані для розрахунку:

Максимальні сила прокатки:  $P=20$  МН

Крутний момент прокатки:  $M_{кр} = 1$  МН·м

Відстань між осями натискних гвинтів:  $a=2650$  мм

Мінімальна ширина штаби:  $B=1200$  мм

Діаметр робочого валка:  $D_p=700$  мм

Діаметр шийки робочого валка:  $d_{ш}=420$  мм

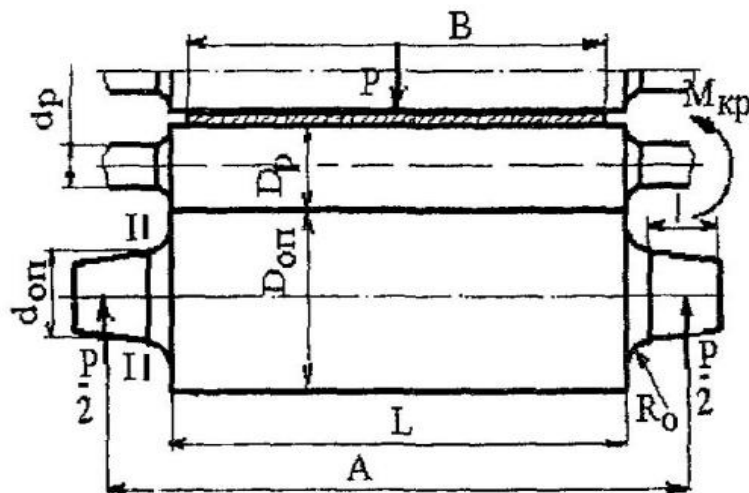
Довжина шийки робочого валка:  $l_{ш}=450$  мм

Діаметр опорного валка після переточувань:  $D_{оп}=1300$  мм

Діаметр шийки опорного валка:  $d_{оп}=830$  мм

Довжина шийки опорного валка:  $l_{оп}=950$  мм.

Рис. 3.2. Сили що діють на робочий і опорний валок



Розраховуємо для бочки:

$$M_{\text{из}} = 14,5 \cdot 10^9 (2,55 \cdot 1,2/2) / 4 = 0,7 \cdot 10^{10} \text{ Н/мм}^2;$$

$$\sigma_{\text{из}} = 0,7 \cdot 10^{10} / 0,1 \cdot 1,28^3 \cdot 10^9 = 33,4 \text{ Н/мм}^2;$$

Для шийки опорного валка:

$$\sigma_{\text{ш}} = 14,5 \cdot 10^6 \cdot 0,85 \cdot 10^3 / 0,4 \cdot 0,75^3 \cdot 10^9 = 73,04 \text{ Н/мм}^2;$$

Для шийки робочого валка:

$$\tau_{\text{кр}} = 0,35 \cdot 10^9 \cdot 1,4 / 0,2 \cdot 0,36^3 \cdot 10^9 = 52,51 \text{ Н/мм}^2.$$

Опорний валок виготовлено зі сталі 9ХФ із напругою, с допустимим, вигином при п'ятикратному запасі міцності ( $\sigma_b = 600 \text{ Н/мм}^2$ ) рівним  $[\sigma] = 120 \text{ Н/мм}^2$  ( $1200 \text{ кгс/см}^2$ ), що вище розрахункового для бочки та шийки. Робочий валок із чавуну з межею міцності  $\sigma_b = 370-450 \text{ Н/мм}^2$ . При п'ятикратному запасі міцності допустима напруга рівна  $[\sigma] = 74-90 \text{ Н/мм}^2$ . Як впливає з розрахунку, робочі напруги менше допустимих.

## **4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА**

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

Прокатне виробництво характеризується складністю й різноманітністю механічного встаткування, у зв'язку із чим у виробничому процесі в основному мають місце небезпечні фізичні фактори; фізико-хімічні фактори є основними тільки при нагріванні металу перед прокаткою й вогневому зачищенню поверхні прокату. Основними небезпеками в цеху є: шум, вібрація, надлишкові теплові виділення на ділянках нагрівальних пристроїв, робочої кліті стана, ножиців, рольгангів; запиленість і загазованість на деяких робочих ділянках; електронебезпечність; імовірність падіння вантажів із кранів.

При експлуатації прокатного стана існують такі небезпечні зони: зона біля валків, біля обертових шпинделів і з'єднання муфт.

Додатковими небезпечними факторами при гарячій прокатці є температурний режим нагрівання, режим прокатки, швидкість його охолодження при деформації й т.д. При різанні металу на ножицях небезпечними є локальні зони що рухаються й обертаються частини механізму.

Також до основних небезпечних і шкідливих факторів у цеху гарячої прокатки відносяться: рухомі машини і механізми, запиленість і загазованість повітря, вібрація, шум, підвищена температура повітря, електронебезпека та пожежонебезпека [17]. Якісний склад пилу наведено в табл. 7.1.



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

Таблиця 4.1 - Якісний склад пилу при прокатуванні

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

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

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

У прольотах прокатних станів, на ділянках різання і складання металу, крім технологічних газів, в атмосферу надходить значна кількість газів, що утворюються при згорянні мастильних матеріалів (вуглекислий газ (CO<sub>2</sub>), вуглець оксид (CO), сірчаний ангідрид SO<sub>2</sub>)) [18].

Багато технологічних операцій прокатного виробництва супроводжуються утворенням шумів низької та високої частоти. Гучними

шумами, рівень яких значно перевищує допустимі санітарні норми, супроводжується транспортування металу по рольгангах, прокатка на стані, різка на ножицях.

Окремі ручні операції в прокатних цехах поєднанні з шкідливим впливом вібрації на організм людини. Особливо небезпечні в цьому відношенні наждачна зачистка поверхні, ручне таврування металу за допомогою пневмоінструменту.

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

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

Дана оцінка факторів виробничого середовища трудового процесу. Розроблено карту умов праці (табл. 7.2) для основної професії - вальцювальника.

Аналіз карти умов праці показав, що робота вальцювальника відноситься до важкої категорії робіт, робота операторів, вальцювальників ставиться до робіт зі шкідливими і небезпечними умовами праці.

Відповідно до гігієнічної класифікації умов праці вальцювальник має право на пільгові умови на: пенсію по старості на пільгових умовах; додаткова відпустка; надбавка до зарплати; профілактичне харчування.

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

Таблиця 4.2 - Оцінка факторів виробничого і трудового процесу вальцювальника

№ з/п	Фактори виробничого середовища і трудового процесу	Норм. знач. (ПДК, ПДУ)	Фактичне Значення	III клас-шкідливі і небезпечні умови і характер праці			Час дії фактора за зміну, %
				I	II	III	
1.	Шкідливі хімічні речовини, мг/м <sup>3</sup> :						
	<u>I клас небезпеки</u>						
	Ангідрид хромовий	0,01	0,06			6,0	90
	Оксид марганцю	0,05	0,39			7,8	90
	<u>II клас небезпеки</u>						
	Акролеїн	0,2	0,66		3,3		90
	<u>III-IV клас небезпеки</u>						
	Ангідрид сірчистий	10	16,83	1,63			90
	Вуглецю оксид	20	25	1,25			90
2.	Масла мінеральні	5	6,78	1,36		6,58	90
	Пил переважно фиброгенного дії, мг/м <sup>3</sup>	4	26,3				90
3.	Вібрація (загальна й локальна), дБ	92	99			7	90
4.	Шум, дБ	80	98			18	90
5.	Інфразвук, дБ	80	105			25	100
8.	Мікроклімат у приміщенні:	27	32,1		5,1		100
	- температура повітря, °С	0,1-0,2	<0,3				
	- швидкість руху повітря, м/с	55	32				
	- відносна вологість повітря, %	140	411		411		83
	- інфрачервоне випромінювання Вт/м <sup>3</sup>	140	2950			2950	90
10.	Загальна оцінка умов праці			2	1	5	
11.	Важкість і напруженість праці	Категорія важкості-важка Напруженість праці-напружена					

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

## 4.2 Заходи з поліпшення умов праці у цеху гарячої прокатки

Перелік технічних і санітарно-гігієнічних мір захисту виробничої сфери і робочих місць наведені в таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 – Міри захисту від впливу небезпечних і шкідливих факторів

Небезпечний або шкідливий фактор	Захисний пристрій	Принцип дії і призначення	Місце установки
Підвищений рівень шуму	Звукоізолюючі kabіни і перегородки	Звукопоглинання і відбиття, ізоляція органів слуху	Біля джерел шуму, у приміщенні оператора
Небезпечний рівень струму	Ізоляція і огороження струмоведучих частин; заземлення й блокування	Захист від дотику до струмоведучих частин, захист від дотику до металевих частин устаткування. Захист від високих рівнів струму	Навколо струмоведучих частин, біля корпусів електродвигуна
Рухливі механізми	Запобіжники плавкі, пускачі дистанційні Кожуха, сітки, запобіжні пристрої	Захист від зіткнення із частинами, що рухаються, і механізмами.	На панелях пульта керування

### 4.2.1 Вентиляція і кондиціонування повітря

Для створення сприятливих умов робочим, зайнятих на гарячих роботах, а також для зниження температури, в закритих приміщеннях необхідно охолоджувати повітря у відповідних установках. Найбільш простим методом охолодження повітря є його охолодження в камерах в результаті випаровування рециркулюючої води. Випаровування водяного пилу викликає охолодження повітря, засмоктуваного в камеру вентилятором.

Витрата води, що йде на випаровування в стічному резервуарі поповнюється за допомогою поплавкового клапана від водопровідної мережі.

При температурі охолоджуваного повітря близько 20-30°C в повітряноохолоджуючих камерах випаровуванням рециркулюючої води охолоджують повітря на 6 - 8 °C, а при температурі повітря близько 35-40 °C на 10-15 °C [19].

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

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

Крім вентиляції з охолодженням повітря в літній час широко застосовується охолодження повітря зрошенням його водяним пилом, безпосередньо у робочих місць водорозпорошувальними форсунками, при цьому розпилювана вода випаровується в повітрі, охолоджуючи його. При зрошенні повітря невелика кількість найтоншого водяного пилу потрапляє на одяг і на відкриті частини тіла робітників, знижуючи при цьому температуру одягу на 4 - 5 °C і температуру відкритих частин тіла на 1 - 2 °C.

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

У зв'язку з тим, що в процесі виробництва агрегати прокатних цехів виділяють в приміщення значну кількість тепла, пилу і газів, цех має

розвинену вентиляційну систему. Витяжна вентиляція служить для видалення з будівлі цеху нагрітого і забрудненого повітря і викиду його в атмосферу. Припливна вентиляція служить для подачі в цех чистого повітря замість вилученого [17].

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

При вдиханні запиленого повітря частина пилових частинок виводиться з організму. Це обумовлено захисними рефlekсами (чиханням, кашлем). Інша частина пилових частинок проникає вглиб легенів, викликаючи роздратування з'єднувальних тканин, сполучних тканин, тобто розвивається пневмоконіоз.

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

Цех, як правило, обладнаний системою як природної, так і механічної припливно-витяжної вентиляції.

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

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

Повітряне душення застосовується в цеху на місцях постійного перебування робітників, що піддаються впливу інфрачервоного випромінювання інтенсивністю  $350 \text{ Вт/м}^2$ . Для усунення перегріву організму

робочих припливне повітря спрямовується безпосередньо на поверхню тіла робочого у вигляді так званого повітряного обдування.

Повітряні завіси застосовують з метою запобігання надходження зовнішнього холодного повітря у виробниче приміщення через відкриті двері або ворота і захисту людей від його впливу. Повітряна завіса використовується також у прорізів в огорожі технологічного обладнання як перешкоду вибивання гарячого забрудненого повітря в приміщенні та в інших випадках, коли необхідно перекрити повітряний потік через отвір.

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

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

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

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

У прокатному цеху, повітря, нагріте від обладнання, розпеченого металу і нагрівальних пристроїв, піднімається вгору і видаляється через стулки аераційних ліхтарів на даху будівлі (рис. 7.1).

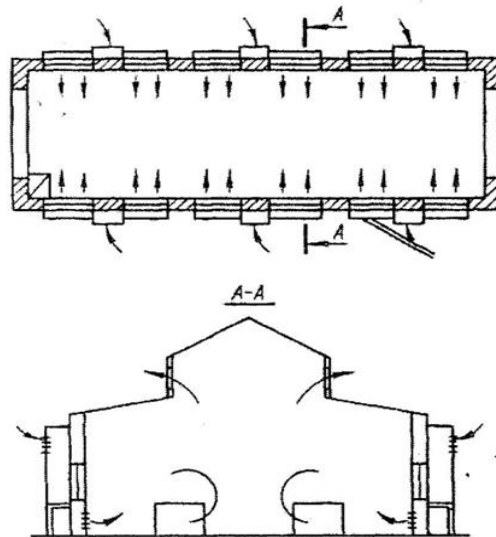


Рисунок 4.1 - Схема аерації приміщень

Для здійснення аерації є достатні за площею і правильно розташовані отвори для введення свіжого і видалення забрудненого повітря. У холодну пору року зовнішнє повітря вводять на висоті, з якою повітря, переміщаючись до робочої зони, нагрівається до необхідної температури в результаті перемішування з внутрішнім повітрям [19].

#### 4.2.2. Освітлення в цеху

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

Норму освітленості вибирають залежно від характеристики зорової роботи, види якої по напруженості ділять на вісім розрядів. Розряд залежить від величини об'єкта розрізнення, а подразряд від фону і контрасту між об'єктом розрізнення і фоном (табл. 4.4).



Таблиця 4.4 - Прийняті значення освітленості в цеху

Назва ділянки	Розряд зорової роботи	Освітленість (лк) і коефіцієнт запасу при люмінесцентних лампах			Аварійне освітлення (лк)	
		Система комбінованого освітлення	Система загального освітлення	Коефіцієнт запасу	Для тривалих робіт	Евакуаційне
Стан 1700	VII	-	150	1,5	10	0,5

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

Природне освітлення цеха здійснюється через світлові прорізи і світлові ліхтарі в даху будівель, тому його поділяють на бічне і верхнє.

Раціональним вважається природне освітлення, що забезпечує хорошу рівномірність освітлення. Освітленість, створювана денним природним світлом, змінюється в широких межах: протягом декількох хвилин вона може збільшуватися або зменшуватися в кілька разів [17].

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

В освітлювальних установках прокатного цеху застосовуються лампи розжарювання і газорозрядні лампи.

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

У виробничих приміщеннях прокатного цеху застосовуються світильники наступних типів: «Універсаль» і «Люцетта цільна» - переважно прямого світла відкритого типу.

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

#### 4.2.3 Захист від виробничого випромінювання

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

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

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

Для захисту працюючих від тепловипромінювання встановлюють між джерелами тепловипромінювання і працюючими екрани або завіси, що затримують інфрачервону радіацію [18].

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

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

Водяні завіси у вигляді суцільної пелени води, а також водоструменевої або водоповітряної завіси дозволяють зменшити вплив тепловипромінювання на робочих місцях на 60 - 85%, причому видимість крізь завіси істотно не погіршується. Водяні завіси слід застосовувати, наприклад, у робочих вікон нагрівальних печей, у місцях маркування гарячого металу і т.п.

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

#### 4.2.4 Захист від виробничого пилу

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

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

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

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

#### 4.2.5 Захист від виробничого шуму і вібрації

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

За допомогою звукоізолюючих перешкод можна знизити рівень шуму на 30 - 40 дБА. Ефективними звукоізолюючими матеріалами є метали, бетон, дерево і т.п.

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

Інтенсивність вібрацій деталей агрегатів, маючи великий випромінювальний шум поверхні (корпусу агрегатів, кожухів, кришок і т. п.), зменшують таким шляхом [17]: пристрої гнучких зв'язків між цими деталями і вузлами агрегату,

що викликають вібрації;

заміна металевих деталей на пластмасові або інші матеріали; заміна підшипників кочення підшипниками ковзання у випадках, коли переважаючим шумом є шум підшипників.

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

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

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

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

### 4.3 Заходи з електробезпеки

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

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

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

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

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

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

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

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

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

У цехах з підвищеною температурою повітря використовують наступні заходи захисту від ураження електричним струмом [23]: захист від дотику до струмоведучих частин; захист від дотику до обладнання, що випадково опинилося під напругою; захист від струмів надмірної сили (короткого замикання);

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

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

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

Джерелами пожежної небезпеки в цеху гарячої прокатки є: наявність легкозаймистих і горючих рідин, горючих (природний, коксовий і доменний) газів, лакофарбових матеріалів і розчинників, промаслених матеріалів;

виділення горючих сумішей і пилу в процесі виробництва на агрегатах і вентиляційних установках; іскріння в електроустановках і статичну електрику.

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

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

обладнання від дії теплових променів при пожежі (накидання на обладнання).

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

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

У цеху широко застосовується повітряно-пінна установка. Вона встановлюється для гасіння пожеж в початковій стадії. Її можна успішно використовувати при займанні масла в ваннах, на ділянках потокових ліній виготовлення кріпильних виробів [23].

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

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

Пропозиції по організації гасінню пожежі при виникненні надзвичайної ситуації:



- провести розвідку та оцінити обстановку на пожежі;
- встановити наявність людей, яким загрожує небезпека, встановити напрямки та способи евакуації;
- прийняти міри до відключення електромережі;
- при виклику підрозділів пожежної охорони організувати їх зустріч, вказати місце пожежі, пояснити особливості планування будівлі, вказати місце розміщення пожежних гідрантів та пожежних водоймищ;
- допомогти працівникам пожежної охорони в діях по евакуації та захисту матеріальних цінностей.

#### **4.5 Розрахунок сили струму, що проходить через тіло людини. Вибір і обґрунтування мережі для живлення виробничого обладнання.**

Чотирипровідна мережа з глухозаземленою нейтраллю:

При нормальному режимі роботи при дотику до однієї з фаз трифазної чотирипровідної мережі з глухозаземленою нейтраллю людина опиняється під фазною напругою, а струм, що проходить через нього, дорівнює частці від ділення  $U_{\phi}$  на  $R_T$ .

Визначимо струм, що проходить через тіло людини, що доторкнулася до фазного проводу мережі 380/220 В. Дано:  $\Gamma_0$  - 4 Ом;  $R_T$  = 1000 Ом.

Струм через тіло людини:

$$I_T = U_{\phi} / (R_T + \Gamma_0) = 220 / (1000 + 4) = 219 \text{ МА.}$$

Напруга дотику:

$$U_{\text{пр}} = U_{\phi} R_T / (R_T + \Gamma_0) = 220 \cdot 1000 / 1000 + 4 = 219 \text{ В.}$$

Висновок: струм, що проходить через людину, яка доторкнулася до фази даної мережі в період нормальної її роботи, практично не змінюється зі зміною опору ізоляції і ємності проводів відносно землі.

При аварійному режимі, коли одна з фаз мережі замкнута на землю через відносно малий активний опір  $r_{зм}$ . У цьому випадку струм через людини:

$$I_T = U_\phi(r_{зм} + r_o \sqrt{3}) / r_{зм} r_o + R_T(r_{зм} + r_o)$$

Приймаємо провідності всіх проводів відносно землі рівними нулю. Тоді струм через людину при  $r_{зм} = 20$  Ом буде:

$$I_T = 220(20 + 4 \sqrt{3}) / 20 \cdot 4 + 1000(20 + 4) = 240 \text{ МА.}$$

Висновок: дотик людини до справного фазного проводу мережі з глухозаземленою нейтраллю в аварійний період більш небезпечний, ніж при нормальному режимі.

#### Трьохпровідна мережа з ізольованою нейтраллю:

При нормальному режимі роботи трьохпровідної мережі з ізольованою нейтраллю визначимо струм, що проходить через тіло людини, що доторкнулася до фазного проводу мережі 380/220 В. Дано:  $R_T = 1000$  Ом;  $C = 0,5$  мкФ,  $W = 314 \text{ с}^{-1}$ ,  $\gamma = 5 \cdot 10^5$  Ом.

Струм через людину:

$$I_T = U_\phi / R_T \cdot 1 / \sqrt{1 + \gamma(r + 6 \cdot R_T)^2 / 9R_T^2 + (1 + \gamma^2 \cdot W^2 \cdot C^2)} = 220 / 1000 \cdot 1 / \sqrt{1 + 5 \cdot 10^5 (5 \cdot 10^5 + 6 \cdot 1000) / 9 \cdot 1000^2 + (1 + (5 \cdot 10^5)^2 - 314^2 - 2,25 \cdot 10^{-13})} = 95 \text{ МА}$$

Висновок: В простягнутих мережах, які мають ємність, захисна функція ізоляції зменшується і при великих ємностях втрачається. Однофазний дотик може бути небезпечним для життя.

При аварійному режимі, коли одна з фаз мережі замкнута на землю через відносно малий активний опір  $r_{зм}$ , провідність двох інших фаз можна прийняти рівними нулю.

У цьому випадку струм через тіло людини:

$$I_T = U_\phi / (R_T + r_{зм})$$

тоді при  $r_{зм} = 20$  Ом буде:

$$I_T = 380 / (1000 + 20) = 373 \text{ МА.}$$

Напруга дотику:

$$U_{пр} = U_L R_T / (R_T + r_{зм}) = 380 \cdot 1000 / (1000 + 20) = 373 \text{ В.}$$

Напруга, під якою виявиться людина, що доторкнеться в аварійний період до справної фази трифазної мережі з ізольованою нейтраллю, буде значно більше фазної і дещо менше лінійної напруги мережі.

Висновок: цей дотик у багато разів небезпечніший дотику до тієї ж фази мережі при нормальному режимі роботи. Разом з тим, такий дотик є також більш небезпечним, ніж дотик до справної фази трифазної мережі з заземленою нейтраллю.

Вибір і обґрунтування мережі для живлення виробничого обладнання:

Схема мережі джерела струму, що живить цю мережу, вибирається за технологічними вимогами, а також за умовами безпеки.

При напрузі до 1000 В широкого поширення набули дві схеми трифазних мереж: трьохпровідна з ізольованою нейтраллю і чотирипровідна з глухозаземленою нейтраллю.

З технологічних міркувань перевага віддається чотирипровідній мережі з глухозаземленою нейтраллю, так як вона дозволяє використовувати дві робочі напруги - лінійну і фазну. При цьому досягається значне здешевлення електроустановки в цілому завдяки застосуванню меншого числа трансформаторів, меншого перетину проводів і т. д.

За умовами дотику до фазного проводу в період нормального режиму роботи мережі більш безпечна мережа трьохпровідна з ізольованою нейтраллю, а в аварійний період - мережа чотирипровідна з глухозаземленою нейтраллю. Крім того, така мережа легко обладнується апаратами захисту, що спрацьовують в аварійний період.

Висновок: обираємо мережу чотирипровідну з глухозаземленою нейтраллю. Так як її застосовують там, де неможливо забезпечити гарну

ізоляцію проводів, коли не можна швидко відшукати або усунути пошкодження ізоляції або, коли ємнісні струми замикання на землю досягають великих значень небезпечних для людини.

## ВИСНОВКИ

1. Проведено аналіз технологічних процесів на стані третього покоління ШСГП 2000 та діючих комплексів з ЛПА фірм Nucor Steel і Danieli. Були виділені недоліки та переваги даних станів. У порівнянні із традиційними комплексами МНЛЗ-ШСГП ливарно-прокатні агрегати мають переваги: краща якість виготовленої продукції, зниження енергетичних і економічних витрат, компактність. Тому проектування діючого ШСГП 1680 в комплексі з ЛПА є актуальним.

2. Виконані розрахунки режиму деформації та енергосилових параметрів прокатки. Розроблено раціональний режим деформації штаби с розмірами  $1,2 \times 1000$  мм підкату  $h_{\text{п}}=18$ мм. Зроблені графіки залежності параметру прокатки від кліті стану. Маючи комплекс цих залежностей визначено що величина обтиску значно впливає на силу прокатки, крутний момент та потужність прокатки. Також значний вплив на показник тертя має температура прокатки та швидкість прокатки.

3. Проведено дослідження робочої кліті проектного стану. Дана характеристика робочого та опорного валків. Виконано розрахунок листового валка на міцність. Як впливає з розрахунку, робочі напруги на валки стану менше допустимих, а це значить що умова міцності виконується.

4. Описано технологію виробництва на машині неперервного лиття заготовки. Розглянуто схему установки, а також більш детальний опис основних складових МНЛЗ.

5. Розраховано економічний показник роботи проектного стану - його річна продуктивність. В результаті розрахунку технічно можлива річна продуктивність комплексу ШСГП 1680 з ЛПА становить 1741177 т у рік, а практично можлива продуктивність стану становить 1568800т у рік.

6. Розглянуті питання охорони праці. Дана характеристика потенційних небезпечних та шкідливих виробничих факторів та запропоновані заходи з поліпшення умов праці у цеху гарячої прокатки.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. В. А. Николаев. Горячая прокатка листов и полос Учебное пособие. Часть 1. По дисциплине « Производство горячекатаных полос» Запорожье, ЗГИА, 2014. - 176с.
2. 20. Николаев В. А. Теория процессов прокатки. – Запорожье, ЗГИА, 2007. – 228 с.
3. В.А. Николаев. Технология и особенности процессов сортовой и полосовой прокатки. По дисциплине: Современные направления развития способов прокатки. Учебное пособие. Запорожье, ЗНТУ. 2011. - 344с.
4. Николаев В. А. Валки прокатных станов. Учебное пособие. – Запорожье, ЗГИА, 2000. – 176 с.
5. Николаев В.А., Путноки А. Ю. Прокатка широкополосной стали –К.: Освита України ,2009.–268с
6. Николаев В.А. Новые технологии производства широкополосной стали. Сообщение 2 // Металл и литье Украины, 2012, №7.-С.23-26.
7. Смирнов А.Н. Процессы непрерывной разливки./Смирнов А. Н., Пелюшенко В.Л., Минаев А.А. и др – Донецк : ДонНТУ, 2002.–536с.
8. Тонкослябовые литейно-прокатные агрегаты для производства стальных полос: Учеб. пособие / В.М. Салганик, И.Г. Гун, А.С. Карандаев, А.А. Радионов. - М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана. - 506 с.: ил.
9. Коновалов Ю. В. Справочник прокатчика. Книга 1. Производство горячекатаных листов и полос. – М.: «Теплотехник», 2008.– 640с.
10. Целиков А.И., Зюзин В.И. Теория прокатки. Справочник. – М.: «Металлургия», 1982, 235с..
11. Прищип М.Г. Метедичний посібник до виконання курсових робіт з дисципліни ТЛ і КМЦ та загальної частини дипломних проєктів. – Запоріжжя, 2002, 74с.
12. Грудев А.П. Теория прокатки: Учебник для вузов. – М.: «Металлургия», 1988, 240с..

13. Целиков А.И., Смирнов В.В. Прокатные станы. – М.: «Металлургиздата», 1958, 432с.
14. Диомидов Б.Д., Литовченко Н.В. Технология прокатного производства. – М.: «Металлургия», 1979, 483с.
15. Полухин П.И. Прокатное производство. Учебник для вузов. 3-е издание. – М.: «Металлургия», 1982, 696с.
16. НПАОП 27.1-1.04-09 ПРАВИЛА охорони праці в прокатнім виробництві підприємств металургійного комплексу
17. Лапін В.М. Основи охорони праці // Лапін В.М. - Львів: ЛБІ НБУ, 2002. - 142 с.
18. Жидецький В.Ц. Основи охорони праці / Жидецький В.Ц. - Львів: Афіша, 2002. - 320 с.
19. Трахтенберг А.М. Гигиена труда и производственная санитария // Трахтенберг А.М., Коршун М.М., Чебанова О.В. - К.: Киев, 1997. - 462 с.
20. ДЕРЖСТАНДАРТ 12.0.003-83. ССБТ. МЧМ. Загальні вимоги безпеки. М.: Зі стандартів, 1984, 10 с. Уведено з 1.07.84 р.
21. ДЕРЖСТАНДАРТ 12.1.003-83. Шум. Загальні вимоги безпеки. М.: Зі стандартів, 1983, 10 с. Уведено з 1.07.83
22. ДЕРЖСТАНДАРТ 12.1.005-88 ССБТ. Загальні санітарно-гігієнічні вимоги до повітря робочої зони М.: Зі стандартів, 1988, 75 с. Уведений 1.01.77м
23. Законодавство України про охорону праці (в 4-х томах). - Київ, 1995
24. СНП 11-4-79. Норми проектування. Природне й штучне висвітлення. М.: Стройіздат. 1980, 48 с.
25. СНП 2.01.02-85. Протипожежні норми. М.: Стройиздат.1986, 26с.