

Міністерство освіти і науки України

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

Кафедра обробки металів тиском

Пояснювальна записка

до дипломного проекту (роботи)

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

на тему «Розробка режиму деформації штаби 0,6x1100 мм зі сталі 08Ю на
реверсивному стані 1680» _____

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

Дмитрієв Максим Юрійович _____
(ПІБ) (підпис)

спеціальності (напряму підготовки)

136 Металургія _____
(шифр і назва)

спеціалізація

_____ (шифр і назва)

освітньо-професійна програма

металургія _____
(шифр і назва)

Керівник _____ Ю. О. Белоконь _____
(прізвище та ініціали) (підпис)

Запоріжжя - 2022 року

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

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

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри _____ ОМТ _____
Ю.О. Белоконь

“ _____ ” _____ 20__ року

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

_____ Дмитрієв Максим Юрійович _____

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) «Розробка режиму деформації штаби 0,6x1100 мм зі сталі 08Ю на реверсивному стані 1680»

керівник проекту (роботи) _____ Белоконь Юрій Олександрович, д.т.н., доцент _____,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затвержені наказом вищого навчального закладу від “17” _____ 01_____ 2022 року № 90-с

2. Строк подання студентом проекту (роботи) _____ 14.05.2022 р.

3. Вихідні дані до проекту (роботи) _____ Кінцевий розмір штаби 0,6x1100 мм. Матеріал – сталь 08Ю. Об'єкт – реверсивний стан 1680.

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

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

Презентація до 15 слайдів (Мета та завдання роботи, Схема технології виробництва штаби в цеху, Схема реверсивного стану 1680, Заходи щодо реконструкції, Деформаційні та енергосилові параметри прокатки, Механічна частина, Охорона праці та техногенна безпека, Висновки).

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

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

7. Дата видачі завдання 27 січня 2022 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

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

Студент

М.Ю. Дмитрієв
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи)

Ю.О. Белоконь
(підпис) (прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до випускної роботи: 98 с., 21 рис., 5 табл., 30 джерел.

Об'єкт розробки – розробка заходів по реконструкції реверсивного стана 1680 в умовах ПАТ МК «Запоріжсталь» з метою вдосконалення технології прокатки штаб розміром 0,6x1100мм.

Мета роботи – визначення оптимальних параметрів технології прокатки штаб товщиною 0,6 мм та шириною 1100 мм при реконструкції реверсивного стана 1680 в умовах ПАТ МК «Запоріжсталь» з метою усунення коливань товщини по довжині штабу, регулювання товщини штабів на реверсивному стані 1680 та вдосконалення площинності штабів.

Метод дослідження та апаратура – математичне моделювання залежності коливань товщини по довжині штабів, регулювання товщини штабів на реверсивному двухкільтовому стані, устаткування для поліпшення площинності штабів від режимів роботи стана 1680, матеріалознавчі дослідження на основній апаратурі: металографічному мікроскопі, апаратах для підготовки мікрошліфів, обладнаннях для термічної обробки.

Визначено, що найбільш ефективним способом виготовлення тонких штаб з углеродистих сталей є холодна прокатка на автоматизованих станах із системами контролю й регулювання основних параметрів прокатки.

Результати роботи можуть бути використані при реконструкції реверсивного стана холодної прокатки 1680 для покращення площинності штаб і листів, а також для усунення коливань товщини по довжині штаби та для автоматичного регулювання товщини штаб.

ХОЛОДНА ПРОКАТКА, СТАН, ШТАБА, ПОПЕРЕЧНИЙ ПРОФІЛЬ, ВОЛНИСТОСТЬ, ПРОФІЛЮВАННЯ ВАЛКІВ, РЕГУЛЮВАННЯ, ЕНЕРГОСИЛОВІ ПАРАМЕТРИ, КЛІТЬ, ПЛОЩИННІСТЬ.

ЗМІСТ

ВСТУП.	7
1. ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА.....	8
1.1. Класифікація прокатних станів	8
1.1.1. Реверсивні одноклітьові стани кварто	10
1.1.2. Реверсивні багатовалкові стани.....	14
1.1.3. Реверсивні стани спеціальних конструкцій	16
1.2. Технологія виробництва штаб.....	20
1.2.1. Видалення окалини й характеристика НТА	20
1.2.2. Прокатка на реверсивному стані 1680	22
1.2.3. Характеристика прокатних валків та їхнє профілювання	24
1.2.4. Мастильно-охолоджувальні рідини для холодної прокатки штаби	28
1.2.5. Відпал холоднокатаних рулонів	30
1.2.6. Дресировання металу	31
2. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	35
2.1. Розрахунок режимів деформації й енергосилових параметрів при холодній прокатці штаб	35
2.2.1. Визначення геометричних параметрів вогнища деформації	36
2.2.2. Визначення коефіцієнта тертя	37
2.2.3. Розрахунок границі текучості металу	39
2.2.4. Визначення довжини дуги контакту	42
2.2.5. Енергосилові параметри прокатки	43
2.2.6. Визначення температури штаби на виході з кліті	45
2.2. Розрахунок річної продуктивності реверсивного стану 1680.....	54
2.3. Усунення коливання товщини по довжині штаби	59
3. МЕХАНІЧНА ЧАСТИНА	62
3.1. Робоча лінія прокатного стану	62

3.2. Розрахунок валків на міцність і деформацію	68
3.3. Розрахунок шпинделів із шарнірами на бронзових вкладишах	71
4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА	77
4.1. Технічні рішення для безпечного проведення демонтажних і будівельних робіт реверсивного стану 1680 в умовах ПАТ “Запоріжсталь”	77
4.2. Аналіз потенційно небезпечних і шкідливих факторів виробничого середовища	78
4.3. Технічні рішення по виробничій санітарії	80
4.3.1. Мікроклімат	80
4.3.2. Склад повітря робочої зони	81
4.3.3. Виробничий шум	82
4.3.4. Санітарно - побутові приміщення	82
4.3.5. Об'ємно - планувальні рішення цеху	83
4.3.6. Виробниче освітлення	84
4.4. Міри пожежної безпеки	86
4.5. Електробезпека	87
4.6. Рішення по захисту навколишнього середовища	89
4.7. Інженерна розробка повітряної завіси цехових воріт	89
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВОК	95
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	96

ВСТУП

Прокатне виробництво є завершальною ланкою металургійного циклу. Відповідно до збільшення виплавки сталі й кольорових металів передбачається безперервне зростання випуску, розширення сортаменту й підвищення якості готового прокату. Сортамент прокату продукції надзвичайно різноманітний. Як матеріал використовується понад дві тисячі марок стали.

При малій товщині прокативаємого продукту, коли через велике відношення поверхні до обсягу швидке охолодження металу не дає можливість забезпечити високу температуру в деформаційній зоні, використовується холодна прокатка. Холодна прокатка надає виробам високу точність розмірів і якість поверхні, що неможливо при гарячій прокатці, а також особливі фізичні властивості. У цей час можна позначити наступні основні тенденції у виробництві холоднокатаної листової сталі:

- використання твердих клітей з напіввигином валків;
- використання на станах датчиків авторегулювання натягу, ширини й товщини штаби;
- використання безперервних потокових ліній термообробки вертикального або горизонтального типу;
- будівництво сучасних безперервних станів з 6-7 клітями, швидкістю прокатки до 50 м/с і масою рулону до 60 т.

Коливання товщини по довжині штаби залежать від основних параметрів: коливання товщини, зв'язаною безпосередньо з прокаткою (швидкість, натяг і т.п.); коливання товщини, викликані неточністю розмірів підкату (коливання товщини, твердості і т.п.); коливання товщини, що залежать від стану валків (профіль, температура, зношування і т.п.), а також від регулювання товщини штаби та вибору устаткування для поліпшення площинності штаб.

Таким чином в умовах відсутності сучасних засобів усунення коливань товщини по довжині штаби, регулювання товщини штаби, необхідна реконструкція з застосуванням реверсивного стана 1680.

1 ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА

1.1. Класифікація прокатних станів

Прокатним станом називається комплекс машин і агрегатів, призначених для здійснення пластичної деформації металу у валках, подальшої його обробки й транспортування.

Залежно від призначення (тобто від виду випускаємої продукції) прокатні стани можна розділити на наступні групи.

Стани гарячої прокатки: обтискні, заготовочні, рейко-балкові, крупносортні, середньосортні, мілкосортні, дротові, товстолистові, середньолистові, тонколистові, широкоштабні й штрипсові (випускаючи штрипс-заготівлю для труб у вигляді штаби шириною до 400 мм).

Стани холодної прокатки: листові, жестепрокатні й стани для прокатки тонкої й найтоншої стрічки.

Холодну прокатку рулонної штаби здійснюють на станах різного типу: безперервних чотирьохвалкових (трьох-, чотирьох-, п'яти- і шестиклітьових), і реверсивних чотирьохвалкових і багатовалкових.

Безперервні стани складаються із трьох - шести клітей. Звичайна відстань між осями клітей 4,5 - 5 м. Трьох-, чотирьох-, шестиклітьові безперервні стани застосовують для холодної прокатки листів товщиною 0,6 - 2,5, шириною 1300 - 1800 мм із горячекатаної штаби товщиною 3 - 8 мм у рулонах масою 25- 50 т. Відповідно до ширини штаби довжина бочки валків 1500 - 2000, діаметр робочих валків 500 - 600, опорних 1300 - 1500 мм. Залежно від сортаменту і якості листової сталі швидкість прокатки на цих станах 5 - 12 м/с.

П'ятиклітьові безперервні стани застосовують для холодної прокатки тонкої (0,5 - 1,0 мм) штаби шириною 1500 - 2350 мм із горячекатаних штаб товщиною 4 - 6 мм у рулонах масою 20 - 30 т і більше. Швидкість прокатки на цих станах 10 -

25 м/с. Ширина бочки валків 1700 - 2500 мм при тих же діаметрах, що й для чотирьохкільцевих станів [1].

Шести- і п'ятикільцеві безперервні стани застосовують для холодної прокатки тонкої жерсті товщиною 0,15 - 0,35, шириною до 1200 мм; довжина бочки валків 1200 - 1400, діаметр робочих валків 500 - 550, опорних 1300 - 1500 мм. На сучасних станах максимальна швидкість при прокатці (в останній кліті) найменшої товщини досягає: на шестикільцевих станах близько 40 м/с і на п'ятикільцевих станах 30 м/с. Як правило, прокатка штаби на безперервному стані здійснюється за один прохід. У деяких випадках для одержання необхідної товщини готової штаби і її властивостей після першого проходу рулон піддають відпалу й потім прокочують удруге.

Реверсивні стани чотирьохвалкові по конструкції аналогічні безперервним. Прокатка на цих станах здійснюється в кілька проходів штаби через валки, тому із вхідної сторони, крім розмативателя, встановлена друга моталка. Швидкість прокатки 5 - 15 м/с.

Багатовалкові реверсивні стани застосовують для холодної прокатки тонких (0,1 - 0,5 мм) і досить тонких (до 2 мкм) штаб і стрічки з легованих сталей і спеціальних сплавів. На цих станах прокочують штабу, попередньо прокатану до товщини 0,5 - 1,5 мм на звичайних чотирьохвалкових станах. Багатовалкові (12- і 20-валкові) стани постачені робочими валками діаметром 10 - 50 мм, що опираються на кілька рядів опорних валків і опорних роликів. Найбільше застосування одержали двадцятивалкові стани. На цих станах прокатують найтоншу штабу шириною до 100 мм і тонку штабу шириною до 2000 мм. У більшості випадків стани виготовлені з довжиною бочки валків 700-2030 мм і забезпечують прокатку штаб з відношенням мінімальної товщини до максимально можливої прокочувати^{ся} ширине, що, до 1 : 6000 і більше. Швидкість прокатки 1 - 10 м/с. .

У порівнянні з безперервними продуктивність реверсивних станів в 3-5 раз менше, але вони більше «гнучкі» при настроюванні й прокатці штаб різної

товщини, а також, реверсивні листові стани характеризуються вартістю в 2,5 - 3 рази нижче вартості безперервного стану [1].

1.1.1. Реверсивні одноклітьові стани кварто

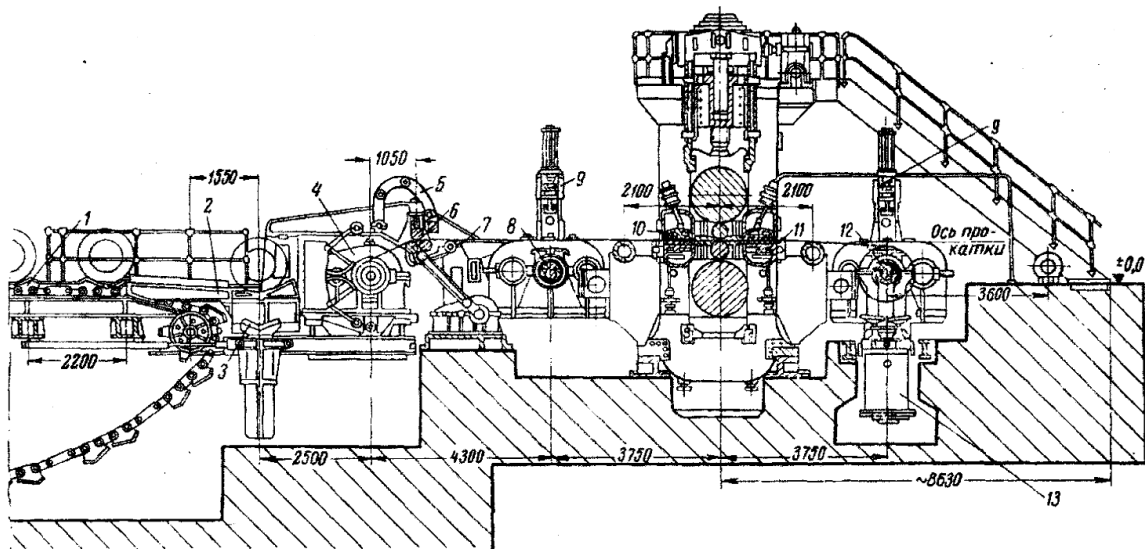
Перші реверсивні стани кварто були створені в 60-х роках на УЗТМ, як на вітчизняних металургійних заводах [стан 1200 Ново-Липецького металургійного заводу (1960), стан 1700 Челябінського металургійного заводу й ін.], так і за рубежом [стан 1200 металургійного заводу Egyptian Iron and Steel у Гелуані].

Підкатом для реверсивних станів кварто служать травлені горячекатані штаби із промасленою поверхнею й холоднокатані штаби, що пройшли проміжний відпал. Сумарне обтиснення при холодній прокатці штаб і маловуглеродистих сталей без проміжної термічної обробки досягає 70-75%, а з нержавіючих сталей, як правило, не перевищує 50-55%. Конструкції й основні параметри робочих клітей реверсивних станів (діаметри й довжина бочки робочих і опорних валків), а також допоміжного устаткування, як правило, уніфікують із відповідними розмірами безперервних листових станів. Це створює зручність при експлуатації та робить виготовлення запасних частин дешевими. У сучасних реверсивних листових станів кварто холодної прокатки з довжиною бочки валків 1200 - 2030 мм робочі кліті виконують із робочими валками діаметром 400 - 660 мм і опорними – 1300 - 1600 мм. При цьому співвідношення діаметрів опорного й робітника валків, а також відношення довжини бочки до діаметра робочого валка становлять 2,5 - 3,5. На багатьох металургійних заводах реверсивні стани кварто є основними в листовому цеху холодної прокатки. Реверсивні стани часто застосовують для прокатки штаб із важкодеформованих сталей, тому що число проходів на цих станах практично не обмежено. Останнім часом для виробництва листів з легованих сталей будують спеціалізовані цехи холодної прокатки, у яких установлюють реверсивні стани кварто разом із багатовалковими станами. Реверсивні стани кварто переважають також у цехах з

невеликим обсягом холоднокатаних листів з маловуглеродистих конструкційної сталі або жерсті [2].

Розглянемо для порівняння деякі реверсивні стани кварто.

Прокатка штаб на реверсивному стані 1680 меткомбінат «Запоріжсталь» (рис. 1.1).



1 – ланцюговий транспортер; 2 – прийомна кишень; 3 – візок піднімального стола; 4 – головки розмативателя; 5 - отгібатель кінців; 6 – правильно-тягнуча машина; 7 - стаціонарний стіл; 8 - передня моталка; 9 – притискні ролики; 10 - пресс - проводка; 11-товщиномери; 12 - задня моталка; 13 - візок знімателя рулонів.

Рисунок 1.1 - Загальний вид реверсивного стану кварто 1680.

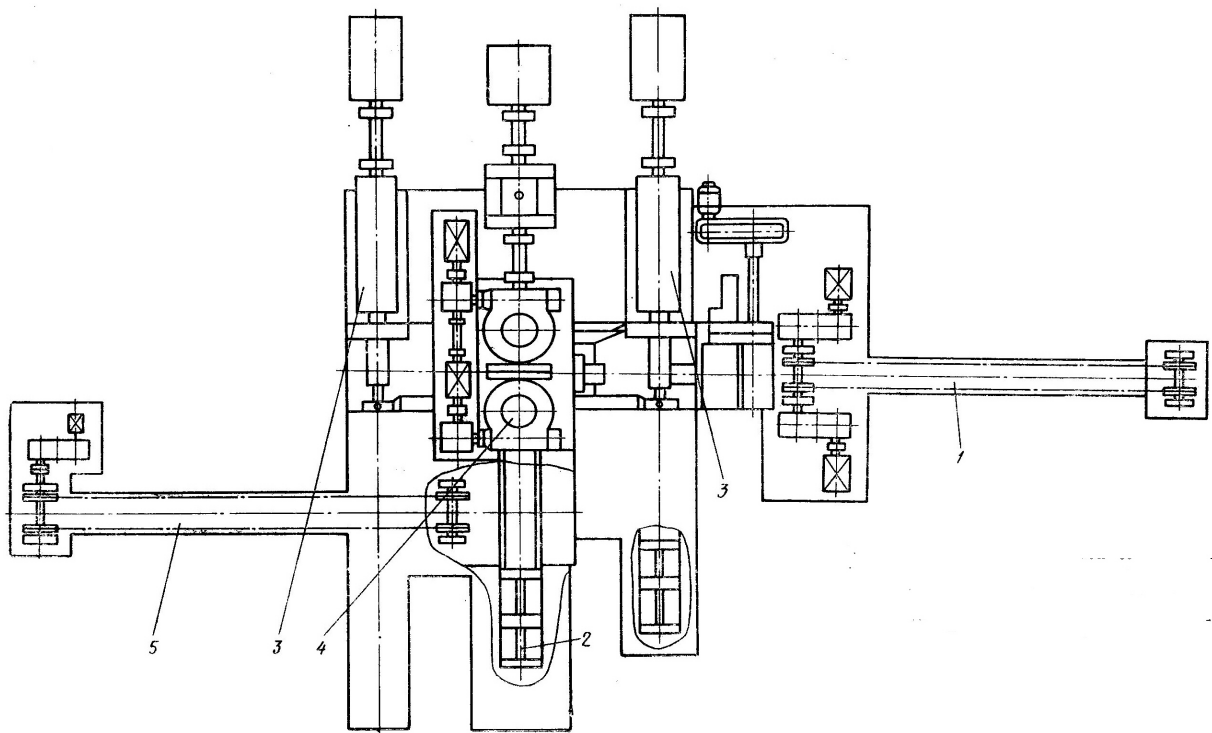
На цьому стані встановлена чотирьохвалкова кліть с діаметром робочих валків 430 мм і опорних 1300 мм. Робочі валки приводяться від електродвигуна потужністю 3200 кВт через шестеренну кліть і обертаються з максимальною окружною швидкістю до 10 м/с. У процесі прокатки робоча швидкість валків не перевищує 8,5 м/с. На стані прокочують маловуглеродисту сталь 08 кп (пс) з розмірами 0,5 - 1,5 мм і 780*1050 мм. Підкат для жерсті, що відправляється безпосередньо на оброблення в цех жерсті, прокочують у шліфованих валках, а автолистову сталь, що йде в рулонах на рекристалізаційний відпал, прокатують в умовах несиметричної деформації. З метою зниження енергосилових параметрів

застосовують один з валків верхній з висотою шорсткостей $Ra = 5 - 6$ мкм, а другий валок, шліфований або із шорсткістю з $Ra = 3 - 4$ мкм. Однак застосування різношерховатих валків приводить до нерівномірного розподілу крутний моментів між верхнім і нижнім шпинделями (більший момент має місце на насіченому верхньому валку). З метою вирівнювання крутний моментів на шпинделях діаметр нижнього шліфованого валка трохи більше, ніж насіченого. Використання робочих валків різних діаметрів істотно полегшує комплектацію при перевалках і знижує їхні витрати. Однак прокатка з різними діаметрами можлива при роботі валків з універсальним шпиндельним з'єднанням [4].

Реверсивні стани кварто 1700 конструкції УЗТМ, розраховані залежно від сортаменту, на різні параметри: стан 500 / 1500*1700 Челябінського металургійного заводу призначений для прокатки штаб товщиною 0,5 - 3,5 і шириною до 1550 мм із нержавіючих і жароміцних сталей і сплавів у рулонах масою до 15 т зі швидкістю до 10 м/сек, а стан 500 / 1400*1700. Карагандинського металургійного заводу - для прокатки штаб товщиною 0,4 - 2,0 і шириною до 1550 мм із вуглеродистих і легованих сталей у рулонах масою до 45 т зі швидкістю до 15 м / сек. При цьому проектна продуктивність останнього стану досягає 85 т/ч.

Із закордонних реверсивних станів кварто можна відзначити стан кварто 355 / 1115*1065 фірми "United States Steel Corp." США Клівленд, і призначений для холодної прокатки штаб товщиною 0,2 - 4,8 і шириною до 940 мм у рулонах масою до 11,5 т. Відмітними конструктивними особливостями стану є приводні опорні валки робочої кліти кварто, гідравлічні пристрої противоізгіба валків, спеціальна система охолодження валків з рециркуляцією технологічного змащення й ін. Цей стан призначений для прецизійної прокатки штаб з дуже високою якістю й дзеркальністю поверхні при величині мікронерівностей менш 0,025 напівтемних, що досягається тонким шліфуванням валків і доведенням їхньої поверхні алмазним поліруванням. Прокатка штаб на цьому стані з наступним дресируванням на стані дуо 810 дозволила виключити складну й дорогу, операцію полірування сталеві штаби на спеціальному устаткуванні [2].

Реверсивний листовий стан кварто 1200 (мал.1.2.), заводу “Egyptian Iron and Steel” у Гелуані (API) конструкції УЗТМ, призначений для холодної прокатки штаб товщиною 0,2 - 2,5 і шириною 500 - 1050 мм із горячекатаних штаб товщиною 2 - 4 і шириною до 1050 мм у рулонах масою до 15 т при швидкості до 15 м/сек. До складу стану входять ланцюговий транспортер із прийомною кишенею й піднімальним столом, розмативатель із діаметром голівки 500 мм і з отгібатеєм переднього кінця рулонів, а також із правильно - тягнучим пристроєм, передня моталка з барабаном діаметром 500 мм, що приводиться від електродвигуна потужністю 850 кВт, робоча кліть кварто 500 / 1300*1200 мм із приводом від електродвигуна потужністю 4600 кВт за допомогою шестеренної кліті й універсальних шпинделів і задня моталка із пристроями для знімання й збирання рулонів. Стан обладнаний приладами технологічного контролю й засобами автоматизації. Продуктивність стану 16 - 60 т/ч.[3].



1 і 5 - транспортери для передачі рулонів; 2 - механізм для зміни валків; 3 - моталки; 4 - робоча кліть кварто.

Рисунок 1.2 - Реверсивний листовий стан кварто1200 холодної прокатки заводу “Egyptian Iron and Steel” (конструкція УЗТМ).

1.1.2. Реверсивні багатовапкові стани

Однієї з різновидів реверсивних станів холодної прокатки є багатовапкові стани, які в більшості випадків застосовують для прокатки найтонших стрічок з легованих сталей і важкодеформованих сплавів. Перевага таких станів полягає в тому, що завдяки застосуванню робочих валків малого діаметра за один прохід досягаються значно більші обтиснення, чим на станах кварто. Так, наприклад, штаби з нержавіючої сталі на багатовапкових станах катають із обтисненнями 15 - 25% за один прохід, тоді як на реверсивному стані кварто обтиснення становлять 8 - 12%. Сумарне обтиснення на багатовапкових станах досягає 97%, у результаті чого потужність головного електродвигуна використовується ефективніше, ніж на станах холодної прокатки інших типів. Багатовапкові стани працюють з великим натягом штаби (до 30 - 40 т), що дозволяє прокочувати її з малими допусками на товщину по всій довжині. Сучасні конструкції вітчизняних багатовапкових станів забезпечують точність прокочується штаби, що, товщиною менш 0,5 мм у межах (0,025÷0,003) мм, при цьому поперечна різнотовщинність не перевищує 0,001-0,003 мм. Крім того, багатовапкові стани характеризуються можливістю прокатки штаб з відношенням товщини до ширини до 1 : 40000, одержанням штаб з більш твердими допусками, ніж на станах кварто, а також невеликою масою й габаритами [2].

Закордонні стани металургійних фірм США, Швеції й Італії характеризуються приблизно такими ж допусками на товщину прокочується ленти, щоМ. Багатовапкові стани працюють як самостійно, так і разом із чотирьох- і п'ятиклітьовими безперервними станами холодної прокатки.

На малюнку 1.3. дан загальний вид двадцятивалкового реверсивного стану конструкції ВНИИметмаша й СКМЗ, призначеного для холодної прокатки тонкої штаби з електротехнічної кременистої сталі із границею текучості до 700Н/мм².

Стан складається з робочої кліті, розмативателя й двох моталок. Масивна станина великої жорсткості відлита у вигляді одного моноблока зі сталі марки 35Л. У станині симетрично осі прокатки розташовано 20 валків з довжиною бочки

1200 мм; два робочих неприводних діаметром 55-120 мм, виготовлених з високоміцної хромовольфрамівної сталі; чотири (2X2) проміжних опорних неприводних з діаметром 160 мм; шість (2X3) проміжних валків з діаметром 225 мм, з яких крайні чотири (два, верхніх і два нижніх) є приводними; 4X2=8 опорних осей, на кожній з яких п'ять прецизійних роликів підшипників діаметром 36,0 мм, шириною по 280 мм із чотирирядними циліндричними роликами. Чотири приводних проміжних хитка приводяться від двох електродвигунів постійного струму потужністю 4800 кВт, 190/415 про/хв, через комбінований редуктор - шестеренну кліть ($i=0,5$) і чотири універсальних шпинделі. Кожна моталка приводиться від двох електродвигунів потужністю 2000 кВт, 190/480 про/хв через редуктор ($i = 3,68$). Максимальний натяг штаби 360 Кн (30Т). При прокатці вузької штаби з невеликим натягом кожна моталка приводиться одним двигуном (другий відключається за допомогою розчіпної зубчастої муфти). На стані прокочують штабу товщиною 0,3-0,8 мм, шириною до 1000 мм зі штаби товщиною 2-3,5 мм (після декількох операцій відпала). Маса рулону досягає 20 т.

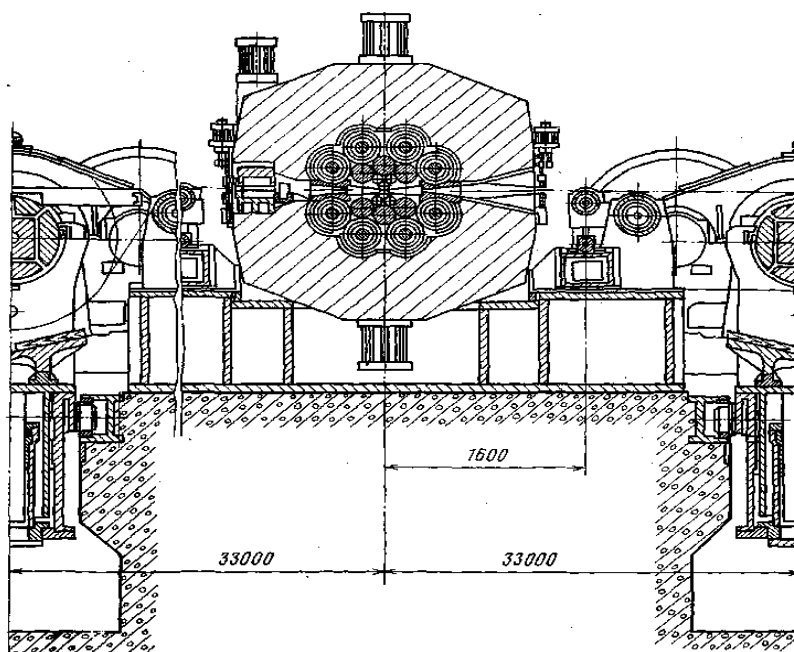
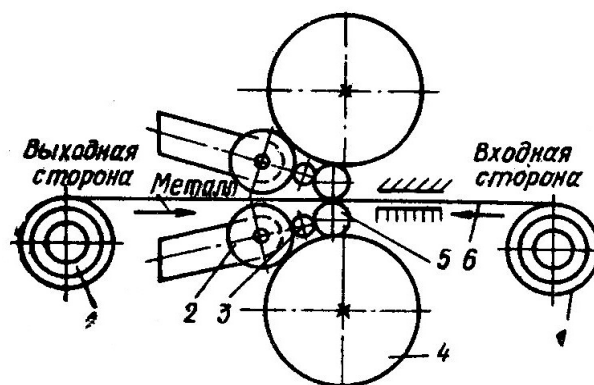


Рисунок 1.3 - Двадцятивалковий реверсивний стан 1200 холодної прокатки тонкої штаби (конструкції Внииметмаша й СКМЗ).

У робочій клітці передбачений пристрій для регулювання профілю штаби (її товщини по ширині) у процесі прокатки, що досягається вигином двох середніх верхніх роликів, установлених (як і всі інші осі) ексцентрично щодо своїх опор. Із цією ж метою можна регулювати положення чотирьох опорних валків першого проміжного ряду внаслідок осьового переміщення цих валків (з невеликою конусністю по краях бочки). По обидва боки робочої клітці розташовані ролики для виміру натягу штаби. Швидкість прокатки 3,5-10 м/с; продуктивність стану 10-20 т/ч (залежно від товщини штаби й швидкості прокатки) [1].

1.1.3. Реверсивні стани спеціальних конструкцій

Розглянемо схеми станів холодної прокатки, розроблених за останні роки в інших країнах. Західногерманська фірма “Schloemann” виготовила реверсивний стан холодної прокатки типу МК (рис. 1.4.), що установлений на заводі фірми Lancashire and Corby Steel Manufacturing (Англія). Стан призначений для прокатки штаби шириною до 610 і мінімальною товщиною 0,1 мм у рулонах масою до 3 т зі штаб з початковою товщиною до 3 мм при швидкості 3 - 7,5м/сек з обтисненням за прохід до 40%. Робоча клітця стану постачена робочими й опорними валками діаметром 125 і 670 мм відповідно з довжиною бочки 660 мм. [2].



- 1 - металки; 2 - підшипникова опора; 3 - підпирний валок; 4 - опорний валок;
5 - робочий валок; 6 - штаба

Рисунок 1.4 - Схема стану холодної прокатки штаб типу МК (конструкція фірми “Schloemann”, ФРН).

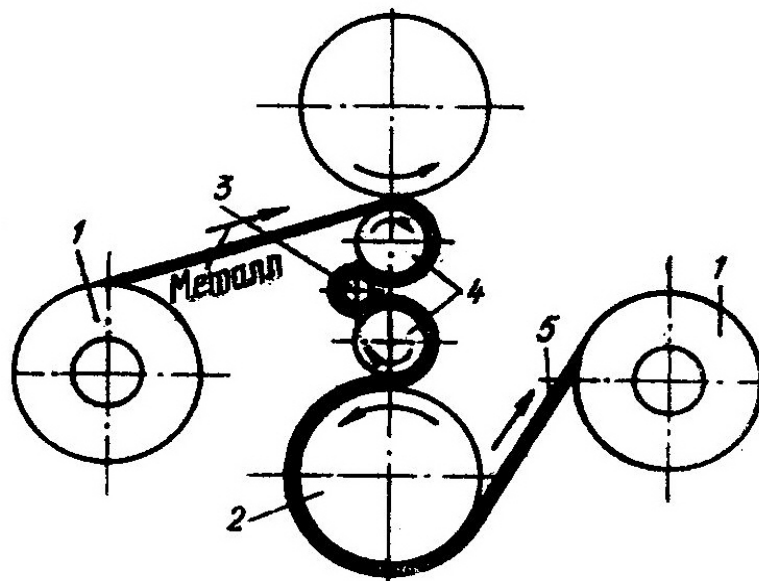
Щоб уникнути вигину робочі валки притискають до опорного за допомогою проміжних підпірних валків діаметром 85 мм і зовнішніх підшипникових опор діаметром 190 мм. Приводними валками стану є опорні, обертові від двох електродвигунів постійного струму потужністю по 490 кВт і числом обертів 0 - 400 - 1000 у хвилину. Для приводу моталок встановлено чотири електродвигуни потужністю по 315 кВт і числом оборотів 0 - 400 - 1000 у хвилину. Регулювання товщини штаби при прокатці автоматизовано. У результаті застосування робочих валків малого діаметра на стані типу МК у порівнянні зі станом кварто звичайної конструкції для прокатки штаби потрібно значно менший (на 50%) крутний момент.

З метою зменшення діаметра робочих валків застосовують стани типу МК із двостороннім розташуванням підпірних валків, при цьому вертикальна вісь робочих валків збігається з віссю опорних валків робочої кліті.

Фірмою Schloemann розроблена також конструкція двуклетового безперервного стану кварто типу МК для прокатки особливо тонкої жерсті [2]. Цей стан має робочі валки діаметром 200 мм і опорні діаметром 1170 мм; довжина бочки валків 1245 мм. Привід опорних валків - безредукторний з індивідуальними електродвигунами; швидкість прокатки досягає 24,4 м /сек.

Фірмами "General Electric Co" and "United States Steel Corp" (США) розроблений новий процес холодної прокатки на реверсивному стані, названому С - В - S (Contact - Bend - Stretch). Стан (малюнок 1.5.) призначений для прокатки штаб товщиною до 0,3 мм і шириною до 305 мм із важкодеформованих металів і сплавів з більшими обтисненнями без проміжної термообробки; товщина вихідної штаби досягає 2,3 мм. Робоча кліть стану виконана по типу кварто з вільно обертовим гнучким роликом, розташованим збоку від робочих валків. У результаті цього штаба за один прохід обжимається до 98% у чотирьох крапках між робочими й опорними валками й між робочими валками й роликом, завдяки чому в кілька разів скорочується число проходів і відпалов у порівнянні зі звичайною прокаткою в робочій кліті кварто. Характерною рисою нового способу є наявність у ньому пластичного вигину штаби навколо вільно

обертового гнучкого ролика, діаметр якого в 30 разів менше діаметра робочих валків [14].

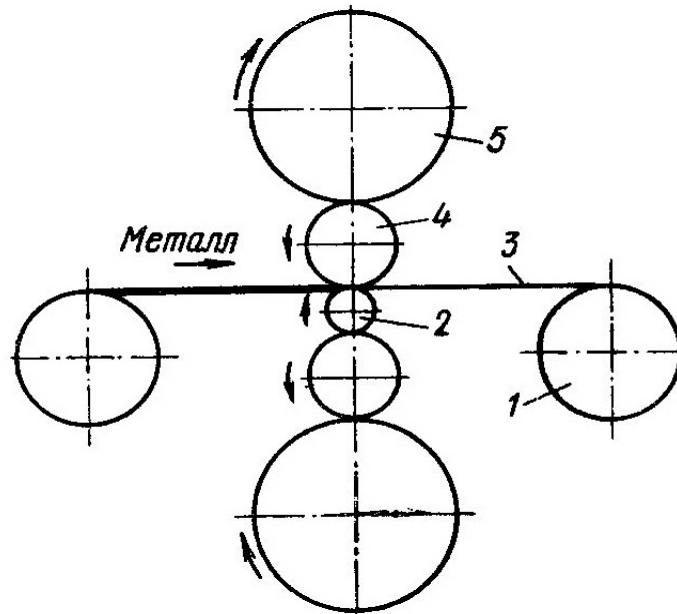


1- моталки; 2- опорний валок; 3 – гнучкий ролик; 4 - робітники валки; 5 - штаба.

Рисунок 1.5 - Схема стану холодної прокатки штаб типу С-В-С (конструкція фірми “General Electric Co”. and “United States Steel Corp” (США).

На заводі Johnes and Laughlin Steel Corp. у Янгстауне (США) установлений промисловий стан холодної прокатки кварто системи Tailor для прокатки штаб шириною до 10 мм із вуглеродистих і нержавіючих сталей, а також кольорових металів з мінімальною різнотовщинністю по довжині й ширині штаби, розроблений фірмою “Youngstown Research and Development”США (малюнок 1.6) Висока точність прокочується штабы, що, забезпечується точною установкою (в інтервалі $\pm 0,013$) робочого валка меншого діаметра між проміжними валками кліті й системи регулювання його положення, тобто зсуву робочого валка до вхідної або вихідної сторін стану, що забезпечує постійну товщину прокатуємої штаби. Положення робочого валка швидко й безупинно регулюється з урахуванням профілю валків і виділення тепла при обтисненні металу. Основні принципи пристрою системи регулювання положення валків на

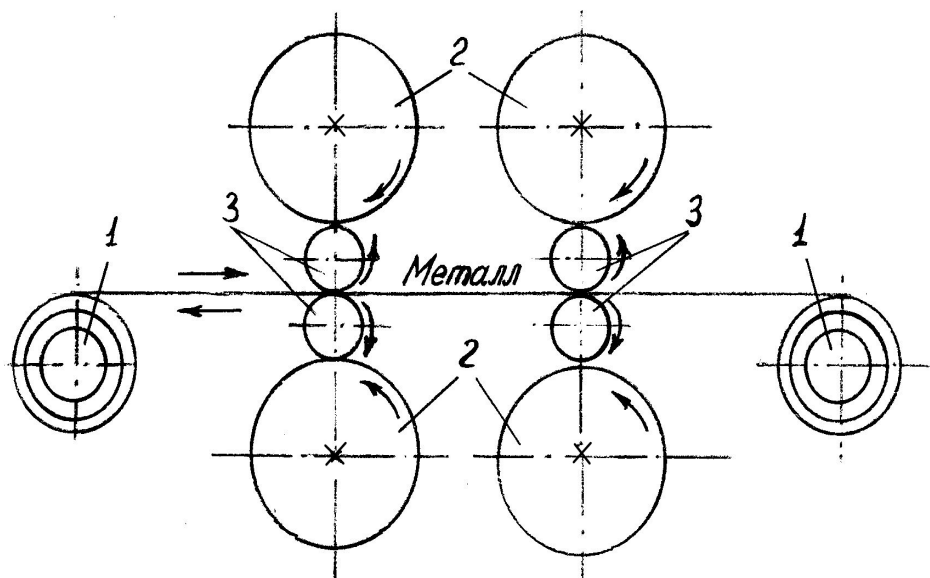
стані системи Tailor можуть бути використані на трьох-, чотирьох-, п'яти- і шестивалкових станах [5].



1 - моталка; 2 - проміжний ролик; 3 - штаба; 4 - робочий валок; 5 - опорний валок.

Рисунок 1.5 - Схема стану холодної прокатки штаб системи Tailor конструкція фірми "Youngstown Research and Development" (США).

В 2002 році на ММК був зданий в експлуатацію фірмою "SMS" двухкільтвий реверсивний стан 1700. Схема стану зображена на малюнку 1.7.



1 - моталки; 2 - опорні валки; 3 - робітники валки.

Рисунок 1.7 - Схема реверсивного двухкільтвого стану 1700 фірми "SMS".

1.2. Технологія виробництва штаб

З метою підвищення продуктивності станів і технологічних агрегатів холодну прокатку й обробку штаби здійснюють так званим рулонним способом; операція різання рулонної штаби на листи мірної довжини є останньою в технологічному циклі цеху холодної прокатки.

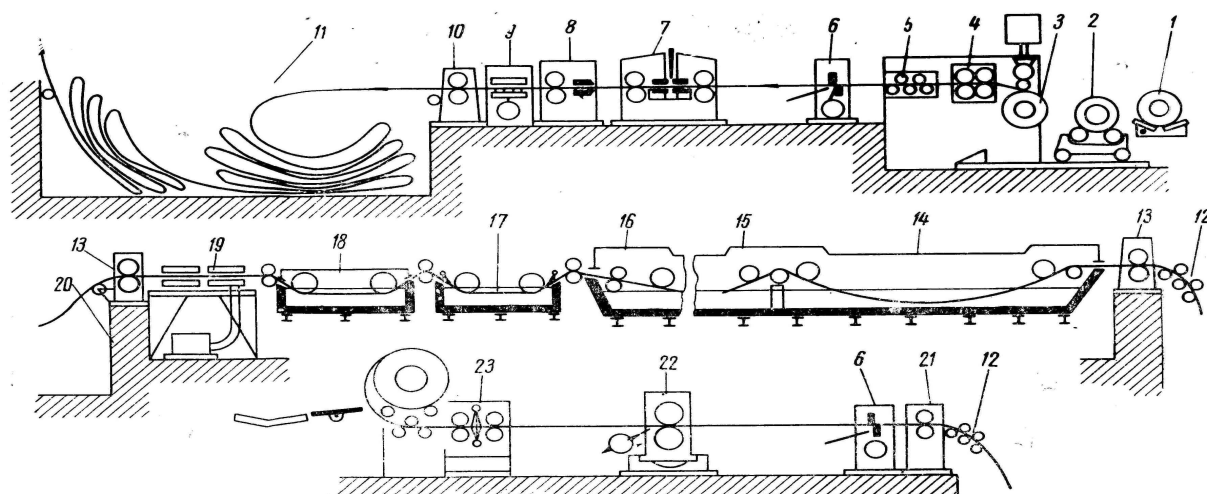
Вихідним матеріалом для холодної прокатки служать рулони гарячекатаної штаби товщиною 2 - 6 мм, що надходять із широкоштабного стану гарячої прокатки.

Технологія цеху холодної прокатки включає наступні найважливіші технологічні операції: травлення, прокатку, відпал, дресирування, нанесення покриттів, різання й пакування, рис. 1.8.

Представлена схема прокатного стану (рис. 1.7.) найкраще підходить для умов ЦХП - 1 комбінату “Запоріжсталь”, тому надалі в даному проекті вся технологія виробництва холоднокатаних штаб буде заснована на технології прокатки труєних рулонів на реверсивному двоклітьовому стані 1700 і подальшій обробці прокачаної на стані штаби.

1.2.1. Видалення окалини й характеристика НТА

Тому що на поверхні гарячекатаної штаби утвориться шар окалини, те першою операцією цеху холодної прокатки є травлення цієї штаби в кислотних розчинах. У травильному відділенні виконуються наступні основні технологічні операції: зварювання встик, травлення, промивання, просушка, обрізка крайок і, якщо необхідно, промаслення гарячекатаної штаби, регенерація обробленого травильного розчину з одержанням 18 %-ний HCl і товарного окису заліза; обробка стічних вод цеху й готування хімічних розчинів для інших відділень цеху. На малюнку 1.9 зображена схема розташування обладнання НТА [9].



1 - конвеєр подачі рулонів; 2 - візок підготовки й подачі рулонів у розмативатель;
 3 - розмативатель; 4 - окалиноломатель; 5 - правильна машина;
 6 - ножиці з нижнім резом; 7 - стикосварочна машина; 8 - гратозніматель;
 9 - зшивна машина; 10 - тягучі ролики; 11 - петлівая яма № 1; 12 - правильні ролики неприводні; 13 - тягучі й ролики, що подають; 14 - травильна ванна № 1; 15 - травильна ванна № 2; 16 - вихідний торець останньої травильної ванни з віджимними роликами; 17 - ванна холодного промивання; 18 - ванна гарячого промивання; 19 - установка для сушіння штаб; 20 - петлівая яма № 2; 21 - тягучі ролики; 22 - дискові ножиці із кромкокрошителем; 23 - пристрій, що промаслює, і моталка роликового типу.

Рисунок 1.8 - Схема розташування обладнання НТА.

Слід зазначити значну різницю в активності соляної кислоти стосовно заліза й до його оксидів. Таким чином, солянокислотне травлення дозволяє одержати в порівнянні із сірнокислотним більш якісну й чисту поверхню підкату для холодної прокатки - стравлюється вся окалина, навіть вкотана. Соляна кислота легше й повніше віддаляється із штаби в промивних ваннах НТА й не забруднює емульсії. Внаслідок істотно різної (приблизно на 30 %) активності соляної кислоти стосовно окалини й металу, менша ймовірність перетрава штаби й стравліваємість основного металу.

Крім того, це робить не обов'язковим механічне руйнування окалини перед травильними ваннами. Солянокислотне травлення здійснюється при більш

низькій температурі розчину, що дозволяє знизити енергетичні витрати на операцію травлення. Завдяки великій активності HCl, значно зростає швидкість травлення й швидкість протягання штаби через НТА (приблизно на 50 %). Цілком ясно, що якісна холоднокатана штаба може бути отримана з якісного підкату, тому для гарячекатаних штаб, що надходять на НТА для травлення, здійснюють тверді обмеження по властивостях і їхній геометрії. Вихідна штаба товщиною від 1,2 до 6 мм і шириною від 900 до 1900 мм повинна мати постійний хімічний склад і механічні властивості по довжині й ширині .

На НТА роблять укрупнення рулонів шляхом стикового зварювання до маси 15 т, нанесення на поверхню захисного складу й змотування штаби в рулон. Швидкість травлення штаби НТА - 1- 60÷140 м/хв, а на НТА - 2 - 60÷120 м/хв залежно від якості травлення. Контроль і обрізка штаби по кінцях рулону необхідні для усунення більших по амплітуді й частоті збурювань на процес холодної прокатки, які можуть з'явитися через стрибки товщини на зварених швах при зварюванні різнотовщинних кінців. Оптимальним профілем гарячекатаної штаби вважається опуклий. При холодної прокатки штаб з таким профілем підтримується висока швидкість процесу, штаба виходить рівної. При проходженні зварених швів у валках швидкість прокатки знижується. Однак гарна якість зварювання й зачищення грата дозволяє прокочувати рулони без зниження швидкості [10].

1.2.2. Прокатка на реверсивному стані 1680

Підкатом для реверсивного стану 1680 холодної прокатки виробництва “SMS” Німеччина є гарячекатана травлена штаба, змотана в рулони. До складу обладнання стану входять: дві реверсивні кліті, один розмотувач, дві реверсивні моталки, трьохроликів правильно-тягнуча машина. Є чотири розвантажувальні станції (по двох станції на кожну моталку). Із двох розвантажувальних станцій, одна постачена пристроєм для зважування.

Технічна характеристика стану

Заправна швидкість на стані - 0,5 - 1,0 м/с. Робоча швидкість - 22 м/с. Ширина штаби не більше 1650мм, але не менш 800мм. Допуск по ширині 10 мм. Товщина підкату 1,5 - 5,0 мм. Допуск по товщині +/- 7 % . Відхилення від площинності не більше 15 мм/м. Зовнішній діаметр рулону від 990 до 2200 мм, а внутрішній - 610 мм, маса рулону - не більше 35т.

Прокатка провадиться за два проходи. Передній кінець штаби задається в ліву моталку стану без обтиснення, задній кінець штаби, після прокатки на ліву моталку з розмотувачем, простягається під прес-проводку (з дерев'яними вставками) і обжимається. Потім задається в праву моталку й виробляється прокатка у зворотному напрямку, після завершення проходу штаба випускається з моталки й обжимається аналогічно схемі першого проходу, це дозволяє знизити втрати металу.

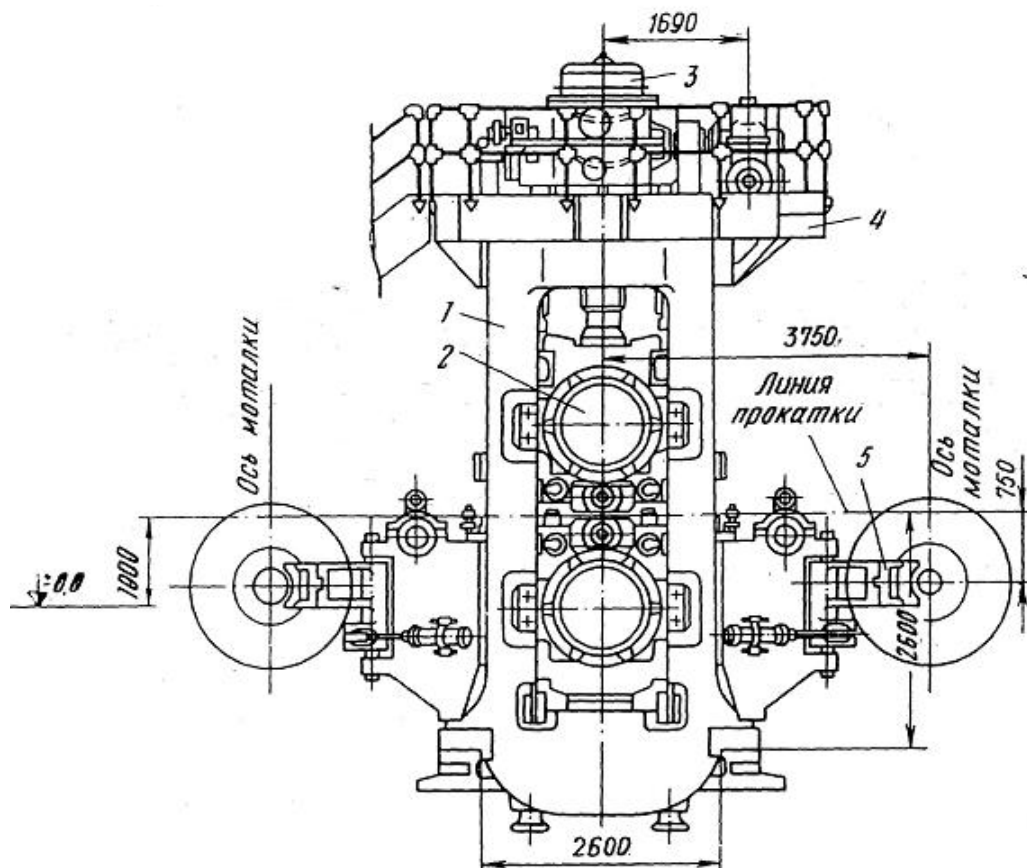


Рисунок 1.10 - Загальний вид реверсивного стану 1680.

1.2.3. Характеристика прокатних валків і їхнє профілювання

Валки прокатних станів виконують основну операцію прокатки - деформацію (обтиснення) металу й додання йому необхідної форми поперечного перерізу. У процесі деформації металу обертові валки сприймають тиск, що виникає при прокатці, і передають цей тиск на підшипники. Валок складається з декількох елементів: 1) бочки валка (діаметром D і довжиною L), що безпосередньо при прокатці стикається з металом; 2) шийок, розташованих по обидва боки бочки, що опираються на підшипники валка; 3) кінців валка, що служать для з'єднання валка зі шпинделем.

Валки прокатних станів можна розділити на дві основні групи: листові й сортові. Листові валки служать для прокатки листів, штаб і стрічки. Бочка цих валків циліндричної форми, тому іноді ці валки називають гладкими. Сорткові валки служать для прокатки різного сортового профілю (круглого, квадратного, уголкового, рейок та ін.) і заготівель. На поверхні бочки цих валків є поглиблення, що відповідають профілю металу, що прокатується. Ці поглиблення називають струмками (струмка двох валків утворюють калібр), а валки струмковими (каліброваними).

Валки класифікують по призначенню, конструкції й матеріалу виготовлення. У випадку використання валків у прокатних клітях із числом валків більше двох, їх підрозділяють на робочі й опорні. Опорні сприймають основну частку зусилля прокатки й охороняють більше тонкі робітники валки від прогину. По конструкції розрізняють валки суцільнолиті, цельноковані та складові, основними складовими яких є сталеві осі. Що стосується матеріалу валків, то вони можуть бути чавунні, сталеві або із твердих сплавів. У випадку холодної прокатки використовують тільки сталеві й тврдосплавні валки великої твердості [11].

На рис. 1.11 зображена система осьового зсуву робочих валків, що забезпечує осьовий зсув робочих валків типу CVC (випукло - увігнуті) з метою оптимізації профілю міжвалкового зазору.

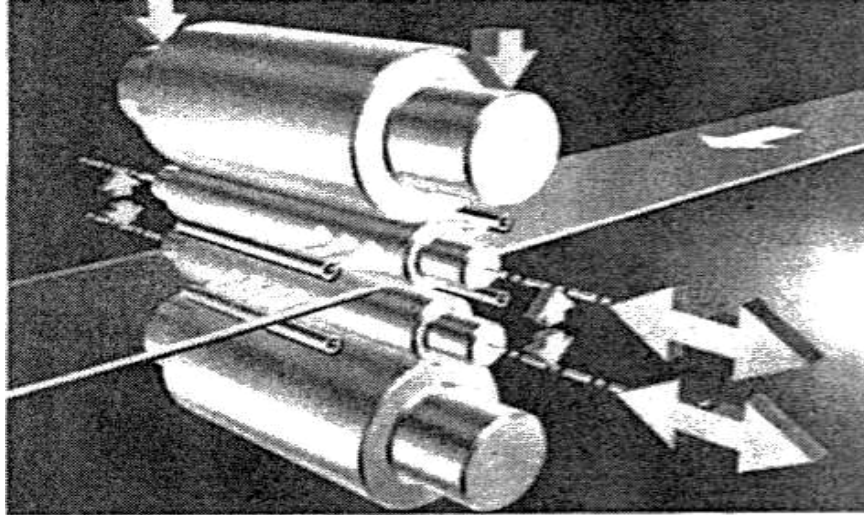


Рисунок 1.11 - Робота валкової системи реверсивного стану 1680 холодної прокатки.

Профіль робочих валків при прокатці з осьовим зсуванням застосовується випукло - увігнутим. Опорні валки на стані циліндричні зі скосом по 100 мм. Підшипники робочих валків - радіальні 4-х рядні конічні роликові підшипники; завзяті 2-х рядні самоустановлювальні роликові підшипники. Прокатка металу може здійснюється на насічених робочих валках клітей № 1 і № 2. Допускається прокатка металу на насічених валках тільки 2 - ой кліті при непарній кількості проходів (1,3,5) і на насічених валках тільки 1 - ой кліті при парній кількості (2,4,6), а також на гладких валках при прокатці підкату для жерсті.

При холодній прокатці штаби в стані із циліндричними валками останні вигинаються (рис. 1.12.а). Внаслідок цього товщина в середині штаби виходить більшою, ніж по краях, що приводить до одержання штаб із хвилястими й рифленими крайками (рис. 1.12.б).

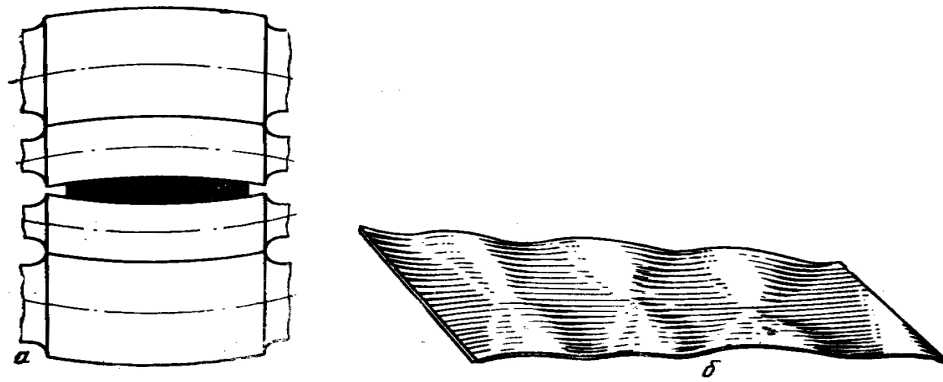


Рисунок 1.12 - Вплив циліндричної бочки валка на якість викочування й поверхні штаби

Коливання товщини по ширині штаби не тільки приводять до одержання неякісної продукції, але й перешкоджають нормальному плину процесу прокатки. Тому в процесі прокатки регулюють коливання товщини по ширині прокочується штаби. Для здійснення такого регулювання валянням у процесі шліфування надають опуклість. При прокатці металу в опуклих валках (як правило, опуклий тільки верхній валок) необхідно, щоб зусилля прокатки, прикладене до них, було постійним при прокатці штаби певного розміру й досягало такої величини, що компенсувала б опуклість валків. При цьому по ширині прокочується штаби, утворюючи бочок валків, приймають паралельне положення й холоднокатана штаба виходить прямокутного перетину (рис. 1.13).

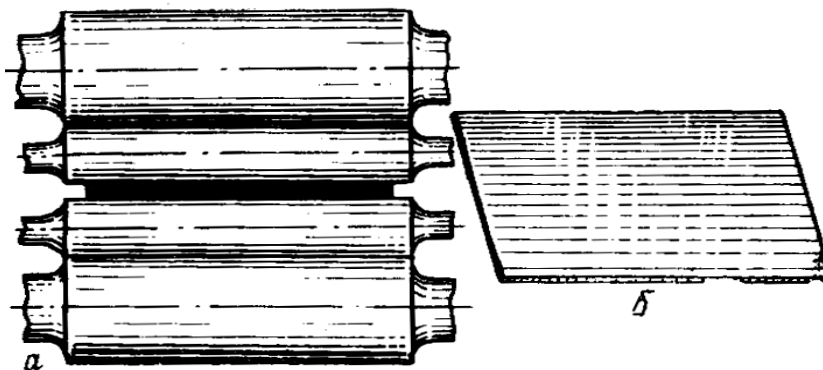


Рисунок 1.13 - Вплив опуклої бочки валка на якість викочування й поверхня штаби

Якщо ж виникаючий в процесі прокатки тиск металу на валки недостатній, то середина штаби має меншу товщину, ніж крайки. При цьому штаба виходить коробоватою (рис. 1.14.).

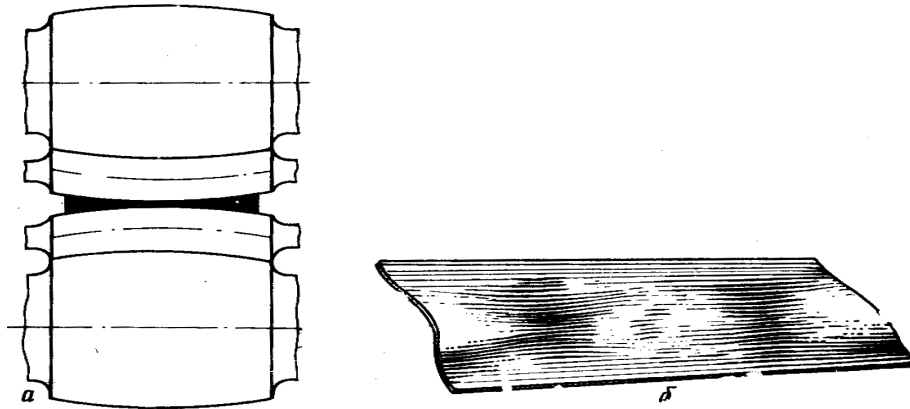


Рисунок 1.14 - Вплив надмірної опуклості бочки валка на якість і поверхню штаби

Таким чином, у кожному конкретному випадку прокатки необхідна та або інша величина опуклості валків, тобто її необхідно регулювати.

Таблиця 1.1 - Технічна характеристика валків стана

Параметр	Робочі валки	Опорні валки
1. Діаметр бочки, мм.	450 - 400	1250 - 1150
2. Довжина бочки, мм.	1750	1750
3. Марка стали	9Х2МФ, 60Х2СМФ	бочка - 9ХФ, вісь - 40ХН2МА
4. Твердість по Шору	90 - 105	70 - 85
5. Вага валка, кг.	3410	23660

Для забезпечення високої площинності штаб, що прокочуються, на реверсивному стані передбачені системи як автономного, так і автоматичного впливу на профіль:

- додатковий вигин робочих валків;
- противигин робочих валків;
- осьове зрушення робочих валків (рис. 1.11.);
- зональне регулювання теплового профілю робочих валків.

Валки листопрокатних станів шліфують на спеціальних вальцешлифовальних верстатах (моделі 3415E, 3417B). Технологія підготовки поверхні валків складається, як правило, з операцій обдирання (видалення механічних ушкоджень на бочку валка у вигляді викрошек, наварів, тріщин й т.п.) і шліфування (чорнового і чистового), що і надає валку точність по розмірам і необхідну чистоту поверхні. При шліфуванні знімається слой, що, повинен дорівнювати 0,2-0,5 мм. Якщо потрібно одержати високий клас чистоти, поверхню валка полірують ($Ra < 0,3$ мкм). На реверсивному стані холодної прокатки використовують робочі валки з насіченою поверхнею з $Ra = 3 - 6$ мкм, і валки зі шліфованою поверхнею ($Ra = 0,8 - 1,6$ мкм) залежно від сортаменту металу, що прокатується. Застосування насічених робочих валків обумовлено необхідністю поліпшення умов захвата штаби й запобігання пробуксовки валків по смузі в процесі прокатки, а також перешкоджає зварюванню витків рулону в процесі рекристалізаційного відпала в одностопних ковпакових печах [12].

1.2.4. Масильно-охолодні рідини для холодної прокатки штаби

Технологічні мастила й охолодні рідини мають дуже велике значення при холодній прокатці штаб. Призначення охолодної рідини полягає в регулюванні й підтримці постійним теплового режиму валків. Мастило зменшує коефіцієнт зовнішнього тертя й, отже, питомий тиск металу на валки. Від ефективності застосовуваного змащення залежать стійкість(зношування) валків, витрата енергії при прокатці, якість штаби, рівномірність її товщини й стан поверхні. Під ефективністю технологічного мастила розуміють ступінь зменшення коефіцієнта зовнішнього тертя при холодній прокатці. Зовнішнє тертя можна зменшити тільки застосуванням ефективного мастила. Різні типи мастил мають різну в'язкість, і чим вище в'язкість мастила, тим менше коефіцієнт зовнішнього тертя. В'язкість мастила значно знижується з підвищенням температури. При підвищенні швидкості прокатки коефіцієнт тертя зменшується. Таким чином, найбільш

ефективні мастила необхідно застосовувати при прокатці тонких наклепаних штаб.

Як мастила використовують наступні групи речовин:

- Масла:

а) мінеральні масла - суміш вуглеводнів без активних груп;

б) масла (жири) природні (рослинні) і синтетичні;

в) мінеральні масла з добавками жирів і поверхнево-активних речовин (ПАР).

- Власне вода - застосовується для готування емульсій і самостійно для охолодження валків.

- Емульсії:

а) емульсії, нестабілізовані емульгаторами, - водомасляні суміші (звичайно з рослинними маслами);

б) емульсії з емульгаторами (мінерально-масляні, мінерально-масляні з добавками ПАР).

- Поверхнево-активні речовини, до яких належать й рослинні добавки до масел і емульгатори.

Для охолодження валків застосовують рідини, здатні добре поглинати тепло. Кращими технологічними мастилами є рослинні й тваринні жири (пальмове, касторове, бавовняне й ін), а також емульсії на їхній основі й складні ефіри синтетичних жирних кислот. Погані мастила - мінеральні масла (продукти переробки нафти) і емульсії на їхній основі. Однак високов'язкі мінеральні масла, хоча й не містять жирних кислот, не уступають по дії, що змазує, деяким рослинним маслам (кокосовому, бавовняному й ін.). На вітчизняних станах холодної прокатки при виробництві штаб з мало- і середньовуглеродистих сталей як мастила й охолодні рідини застосовують емульсію на мінеральній основі; при прокатці порівняно легкодеформованих легованих і нержавіючих сталей - мінеральні масла підвищеної в'язкості, рослинні масла й складні ефіри синтетичних жирних кислот. При виборі технологічного мастила необхідно враховувати вплив її на якість поверхні листів. При прокатці штаб на мінеральних

маслах, призначених для покриття, поверхня їх стає матовою через укочування мастила. Це ж явище, але в меншому ступені спостерігається й при прокатці штаб на рослинних маслах. Тому поверхня таких штаб необхідно після холодної прокатки ретельно знежирювати, тому що в противному випадку на поверхні штаб не досягається рівномірності покриття при лудінні або оцинкованні, а при відпалі з'являється сажистий наліт. Особливу увагу необхідно приділяти чистоті масел або емульсії в процесі прокатки, тому що залишки забрудненого мастила викликають утворення сажистого нальоту на поверхні штаби при відпалі. Крім того, залишки брудної емульсії можуть викликати корозію поверхні холоднокатаної штаби до відпала [15].

Сортамент і режими обтиснень реверсивного стану 1700 основних профилерозмірів, що прокатують на насічених валках з емульсією на основі мінерального масла наведені в таблиці 1.2.

1.2.5. Відпал холоднокатаних рулонів

Для зняття зміцнення, отриманого металом при холодній прокатці, відновлення пластичних властивостей або додання інших спеціальних властивостей, проводять термообробку холоднокатаного металу - рекристалізаційний відпал при 630 - 690 °С.

Відпал складається із трьох стадій: нагрівання, витримки й охолодження металу. Так як після відпала штаба не піддається вторинному травленню, а направляється для виготовлення готової продукції, то утворення окалини на поверхні штаби при відпалі неприпустимо. Тому відпал проводять у захисній атмосфері. Тривалість і температурний режим відпала обумовлені товщиною й хімічним складом матеріалу штаби. Після відпала при $t = 670 - 710$ °С границя текучості сталі марок 08кп (08пс) знижується з $\sigma_T = 700 - 750$ Н / мм² до $\sigma_T = 220 - 240$ Н/мм², а відносне подовження збільшується з $\delta = 1,5\%$ до $\delta = 35 - 40\%$.

Режим термічної обробки повинен забезпечувати задані властивості сталі, охороняти поверхню металу від окислювання й обезвуглероження поверхні.

Рекристалізаційний відпал є однією з основних технологічних операцій, що визначають якість готового холоднокатаного листа.

Конструкційний лист і автолист відпалюють у ковпакових печах, жерсть у ковпакових і баштових печах. Газові ковпакові печі характеризуються невисокими енергетичними витратами при досить великій продуктивності й зручному обслуговуванні. Відповідно до розмірів відпалюємих рулонів у цей час визначалися чотири основні конструкції одностопних печей діаметром до 1,6; 1,8; 2,2 і 2,7 м. Висота стопи відпалюємих рулонів конструкційного листа складає 4,7 - 5 м, жерсті 3,8 - 4 м; маса садки 40 - 180 т. Печі опалюються природним газом або сумішшю коксового й доменного газів [13].

Для підвищення виходу аркушів особливо складної витяжки й одночасно для зменшення злипання витків рулонів і поліпшення чистоти поверхні металу використовують двоступінчастий відпал холоднокатаних рулонів в одностопних ковпакових печах із проміжною й остаточною витримками при температурах відповідно 600 і 690 °С. При попереднім нагріванні із проміжною витримкою в 1,5 рази скорочується тривалість остаточної витримки й зменшується ймовірність злипання витків. Значно поліпшуються при цьому мікроструктура й механічні властивості відпаленого металу, знижується кількість листів, забракованих по дефекту злом. Оптимальні режими температури й швидкості нагрівання забезпечують високі пластичні властивості металу. Такі печі повинні мати регульовану циркулюючу захисну атмосферу й автоматичне програмування швидкостей при східчастому нагріванні й охолодженні.

1.2.6. Дресування металу

Дресуванням називається холодна прокатка (без мастила й з мастилом) з невеликим обтисненням (0,5-3,0%). Це одна з найважливіших операцій технологічного процесу виробництва холоднокатаних листів. Від того, наскільки ретельно проведена ця операція, залежить якість готових листів.

Метою дресирування є: а) поверхнєве зміцнення відпаленого металу з метою поліпшення його наступної штампуємості; б) виправлення металу й одержання гладкої блискучої поверхні.

У цей час дресирування вуглецевої сталі роблять головним чином у рулонах, що відповідає сучасній тенденції виробництва листового металу і є найбільш економічним [1].

Дресирування - точна оздоблювальна операція. Тому для дресирування застосовуються прокатні стани відповідного типу; вони вимагають уважного обслуговування при роботі. Поступаюча штаба обтиснута практично до остаточної товщини й при цьому дуже м'яка. Необхідно ретельно стежити за тим, щоб на штабі не з'являлися складки, волнистості й інші пошкодження. При дресируванні штаба повинна мати достатній натяг, що перевищує межу пружності, але воно повинне бути значно нижче межі міцності [5].

Для дресирування рулонної штаби застосовують чотирьохвалкові стани:

- 1) одноклітьові нереверсивні для дресирування в один прохід штаб товщиною 0,5 - 1,5 мм із вуглеродистої сталі;
- 2) одноклітьові реверсивні для дресирування штаби з легованої сталі в кілька проходів;
- 3) двоклітьові безперервні для дресирування тонкої штаби й жерсті (0,15- 0,5 мм) у два проходи.

Дресирувальні чотирьохвалкові стани по своїй конструкції в основному аналогічні реверсивним і безперервним станам холодної прокатки.

Дресирування листів з маловуглецевої сталі на комбінаті «Запоріжсталь» роблять на одноклітьових станах кварто. До складу обладнання дресировочного стану входять: стрічковий транспортер, що подає (перед кліттю); стрічковий транспортер збиральний (за кліттю); правильна машина 1700, що має 15 робочих і 13 опорних роликів, і робоча кліть 1680. Розміри валків, мм: довжина бочки 1680; діаметр робочих 420 - 380; діаметр опорних 1210 - 1110. Верхній робочий валок шліфують із опуклістю 0,04 мм, нижній циліндричний; опорні валки циліндричні.

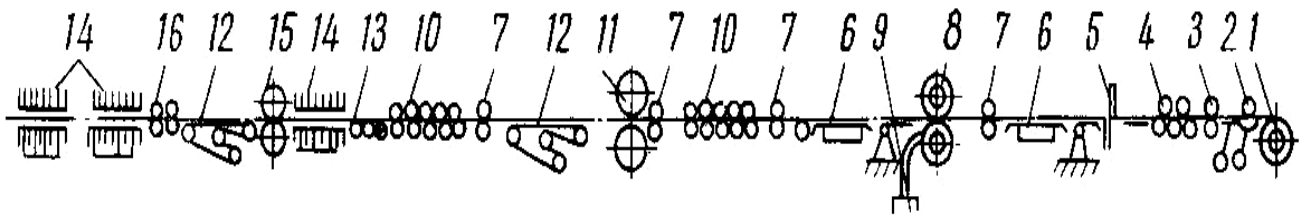
Опорні валки стану складові. Робочі валки виготовляють зі сталі 9Х2МФ. Опорні валки обертаються в підшипниках рідинного тертя.

Дресування роблять за один прохід при швидкості 10-20м/с із метою підвищення пластичних властивостей металу. Після дресування із часом відбувається старіння металу, у результаті старіння протягом 4 годин при 100°С (один рік природного старіння) у сталі 08кп (пс) границя текучості зростає з 200 Н/мм² до 245 Н/мм² твердість HRB з 43 до 46,5, а відносне подовження знижується з 50 до 49, а при штампуванні з'являються на поверхні виробу лінії зрушення. Механічні властивості нестаріючої сталі 08Ю в результаті старіння практично не змінюються.

Дресування здійснюють у робочих валках з насіченою поверхнею й одержують штаби із шорсткістю Ra = 1,5 - 1,8 мкм. Такі листи мають більші витяжні властивості при штампуванні, чим листи із гладкою поверхнею. При штампуванні виробів з листів із шорсткуватою поверхнею мастила входить у западини шорсткості, тим самим знижуючи зовнішнє тертя й поліпшуючі умови штампуємості. Крім того, наявність шорсткості на листі забезпечує краще схоплювання покриття з поверхнею виробу [6].

Готові рулони після дресування передають на агрегати поперечного й подовжнього різання (АПР). Різання штаб провадиться строго поплавочно й попартионно. Різання холоднокатаної штаби на листи або подовжній розпуск штаб - остання операція технологічного процесу виробництва холоднокатаних листів. Штаби ріжуть на листи після дресування на спеціальних агрегатах поперечного різання (АПР). Схема агрегату поперечного різання (малюнок 1.14).

До складу АПР-1 входить наступне основне обладнання: завантажувальний пристрій, розмотувач рулонів (барабанного типу), 5-ти роликів правильна машина, листові ножиці з нижнім різом, 13-ти роликів правильна машина, ножиці барабанного типу, що промаслює машина з форсунками, три листоукладчика з консольними роликами. Робоча швидкість руху штаби 1 ÷ 2,5 м/с.



1 - розмотувач; 2 – відгинач; 3 - ролики, що подають; 4 - п'ятироликівая правильна машина; 5 - ножиці; 6 - відкидний стіл і петлева яма; 7- ролики, що задають; 8 - дискові ножиці; 9 - бракомоталка; 10- правильна машина; 11- летучі ножиці; 12 - транспортери; 13 - рольганг; 14 - листоукладчик; 15 - клей-мовочная машина; 16 - машина, що промаслює.

Рисунок 1.14 - Схема агрегату поперечного різання рулонів на аркуші [4].

До складу АПР-2 входить наступне основне обладнання: завантажувальний пристрій, розмотувач рулонів, 5-ти роликівая правильна машина, листові ножиці з нижнім різом, 13-ти роликівая правильна машина, ножиці барабанного типу, що промаслюють ролики, три електромагнітних листоукладчика, тензометричні ваги. Робоча швидкість руху штаби - $1 \div 2,5$ м/с.

До складу АПР-3 входить наступне основне обладнання: завантажувальний пристрій, розмотувач рулонів, що тягнуть ролики, 5-ти роликівая правильна машина, листові ножиці з нижнім різом, ножиці дискові з роликами, що подають, кромкокрошитель, що тягнуть ролики, 13-ти роликівая правильна машина й три листоукладчика. Робоча швидкість руху штаби - $1 \div 2,5$ м/с.

Потім сортування й упакування готової продукції. При сортуванні холоднокатаної сталі виявляють поверхневі дефекти. Поверхня холоднокатаних штаб і листів є своєрідним відображенням їхнього виробництва на всіх етапах технологічного процесу від виплавки сталі до упаковки готової продукції [7]-[8].

2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

2.1. Розрахунок режимів деформації й енергосилових параметрів при холодній прокатці штаб

Розрахунок режиму деформації й енергосилових параметрів при прокатці штаби з розмірами 0,6 x 1100 мм на реверсивному стані 1680.

Після перемотування, прокатка здійснюється за два проходи, у кожному з яких штаба проходить через дві послідовні кліти. [6].

Вихідні дані до розрахунку:

кінцева товщина штаби $h = 0,6$ мм, ширина $B = 1100$ мм, діаметр робочих валків $D = 450$ мм, швидкість прокатки в першому проході $V_2 = 14$ м/с, у другому проході $V_4 = 16$ м/с, робочі валки сталеві леговані із твердістю $HSD > 90$ ед., із шорсткістю $R_a = 1,5$ мкм, шорсткість поверхні штаби $R_{an} = 0,75$ мкм, емульсія мінерального масла, марка сталі 08Ю містить - (0,08% C; 0,01% Si; 0,4% Mn; 0,02% Cr; 0,06% Ni).

Для реверсивного стану 1680 приймаємо наступний розподіл часток обтиснень:

Таблиця 2.1. - Розподіл відносних обтисків по проходах

№ кліти	1	2	3	4
$\varepsilon, \%$	38	30	20	12

З виразу визначимо можливе сумарний відносний обтиск:

$$\varepsilon_{\Sigma} = 0,51 + 0,148 (2 - h)^{1,3} , \quad (2.1)$$

де $h = 0,6$ мм - кінцева товщина штаби.

$$\varepsilon_{\Sigma 4} = 0,51 + 0,148 (2 - 0,6)^{1,3} = 0,74$$

Вихідна товщина штаби буде дорівнює:

$$H = h / (1 - \varepsilon_{\Sigma 4}), \quad (2.2)$$

$$H = 0,6 / (1 - 0,74) = 2,3 \text{ мм.}$$

Товщина гарячекатаного підкату дорівнює 2,3 мм.

2.2.1. Визначення геометричних параметрів вогнища деформації

Сумарне обтиснення штаби в чотирьох проходах дорівнює:

$$\Delta h_{\Sigma} = H - h_4, \quad (2.3)$$

$$\Delta h_{\Sigma 4} = 2,3 - 0,6 = 1,7 \text{ мм,}$$

а обтиснення по клітях дорівнює:

$$\Delta h = \varepsilon \cdot \Delta h_{\Sigma 4} \quad (2.4)$$

$$\Delta h_1 = 0,38 \cdot 1,7 = 0,65 \text{ мм,}$$

$$\Delta h_2 = 0,30 \cdot 1,7 = 0,51 \text{ мм,}$$

$$\Delta h_3 = 0,20 \cdot 1,7 = 0,34 \text{ мм,}$$

$$\Delta h_4 = 0,12 \cdot 1,7 = 0,20 \text{ мм.}$$

Виконаємо перевірку:

$$\Delta h_{\Sigma 4} = 0,65 + 0,51 + 0,34 + 0,20 = 1,7 \text{ мм.}$$

Визначимо товщину штаби після кожного проходу по наступній формулі:

$$h_1 = h_0 - \Delta h_1, \quad (2.5)$$

де h_0 – товщина штаби до походу,

підставляючи раніше розраховані параметри у формулу (3.5) одержимо:

$$h_1 = 2,3 - 0,65 = 1,65 \text{ мм},$$

$$h_2 = 1,65 - 0,51 = 1,14 \text{ мм},$$

$$h_3 = 1,14 - 0,34 = 0,80 \text{ мм},$$

$$h_4 = 0,80 - 0,20 = 0,60 \text{ мм};$$

визначаємо відносне обтиснення по проходах по формулі:

$$\varepsilon = \Delta h / H, \quad (2.6)$$

$$\varepsilon_1 = 0,65/2,3 = 0,283,$$

$$\varepsilon_2 = 0,51/1,65 = 0,309,$$

$$\varepsilon_3 = 0,34/1,14 = 0,298,$$

$$\varepsilon_4 = 0,20/0,80 = 0,250.$$

Перший прохід

Визначимо параметри прокатки в кліті 1. Приймаємо, що швидкість прокатки в першому проході, на виході із другої кліті, дорівнює 14 м/с. Швидкість прокатки в четвертому проході, після реверсування, становить 16 м/с, тоді з умови сталості секундних обсягів $V_1 \cdot h_1 = V_2 \cdot h_2$,

(2.7)

знаходимо:

$$V_1 = h_2 \cdot V_2 / h_1 = 1,14 \cdot 14,0 / 1,65 = 9,67 \text{ м/с}.$$

2.2.2. Визначення коефіцієнта тертя

Коефіцієнт тертя дорівнює по формулах робіт [10, 11]:

$$f = f_0 \cdot k_d \cdot k_n \cdot k_{cm} \cdot k_t, \quad (2.8)$$

де f_0 – базовий коефіцієнт тертя; k_d , k_n , k_{cm} – поправочні коефіцієнти, що враховують відповідно величину обтиснення, шорсткість поверхні штаби, тип технологічного змащення й температуру штаби.

Базовий коефіцієнт тертя дорівнює при $V > 7,5$ м/с:

$$f_0 = k_v \cdot [0,062 + 0,005(R_a - 0,6)], \quad (2.9)$$

Коефіцієнт k_d для $R_a < 2,0$ мкм дорівнює:

$$k_d = 0,5 + 1,77\varepsilon + 0,165R_a (1 - 3,33\varepsilon), \quad (2.10)$$

Коефіцієнт k_n дорівнює

$$k_n = 1,09 - 0,05R_{ап}, \quad (2.11)$$

Коефіцієнт k_v при $V > 8,0$ м/с із формули (2.9) дорівнює:

$$k_v = 0,56 + 0,7 \cdot (1 - 0,025 \cdot V)^2, \quad (2.12)$$

Коефіцієнт k_t визначаємо по формулі:

$$k_t = a + c \cdot (1,11 - 0,0044 \cdot t_H)^n, \quad (2.13)$$

де t_H – температура металу перед осередком деформації; a , c , n – коефіцієнти рівні:

$$\left. \begin{aligned} a &= 0,31 + 1,7 \cdot \varepsilon; \\ c &= 1,20 - 2,8 \cdot \varepsilon; \\ n &= 3,84 - 5,7 \cdot \varepsilon; \end{aligned} \right\} \quad (2.14)$$

Для наведених вихідних даних по формулах (2.7 – 2.13), (для емульсії 5% мінерального масла - $k_{cm} = 1,0$; $R_{ап} = 0,75$ мкм) одержимо:

$$\begin{aligned}
k_v &= 0,56 + 0,7 \cdot (1 - 0,025 \cdot 9,67)^2 = 0,96, \\
f_0 &= 0,96 \cdot [0,062 + 0,005(1,5 - 0,6)] = 0,064, \\
k_d &= 0,5 + 1,77 \cdot 0,283 + 0,165 \cdot 1,50(1 - 3,33 \cdot 0,283) \approx 1,02, \\
k_n &= 1,09 - 0,05 \cdot 0,75 = 1,05, \\
\left. \begin{aligned}
a &= 0,31 + 1,7 \cdot 0,283 = 0,79 \\
c &= 1,20 - 2,8 \cdot 0,283 = 0,41 \\
n &= 3,84 - 5,7 \cdot 0,283 = 2,23
\end{aligned} \right\} \\
k_t &= 0,79 + 0,41 \cdot (1,11 - 0,0044 \cdot 25)^{2,23} = 1,2, \\
f &= 0,064 \cdot 1,02 \cdot 1,05 \cdot 1,0 \cdot 1,2 = 0,082.
\end{aligned}$$

Знаходимо показник тертя з виразу:

$$\begin{aligned}
f_{\Pi} &= 1,6 \cdot f - 0,018, \\
f_{\Pi} &= 1,6 \cdot 0,082 - 0,018 = 0,113.
\end{aligned}$$

2.2.3. Розрахунок границі текучості металу

Сталь марки Ст.08Ю містить наступні хімічні елементи (0,08% C; 0,01% Si; 0,4% Mn; 0,02% Cr; 0,06% Ni).

Вуглецевий еквівалент для вуглеродистої сталі в загальному випадку дорівнює [2].

$$C_3 = C + \frac{Si}{24} + \frac{Mn}{6} + \frac{Ni}{40} + \frac{Cr}{5} + \frac{Mo}{4} + \frac{V}{14} + \frac{W}{4} ; \quad (2.15)$$

Базова (вихідна після отжигу) границя текучості й приріст границі текучості відповідно рівні:

$$\left. \begin{aligned}
\sigma_{T0} &= 210 + 263 C_3 ; \\
\Delta\sigma_T &= 209 + 460 C_3 .
\end{aligned} \right\} \quad (2.16)$$

Коефіцієнт, що враховує обтиснення дорівнює:

$$\begin{aligned}
 &\text{для } \varepsilon_{\Sigma} = 0 - 0,4 \\
 &\quad k_{\varepsilon} = 1 - \left(1 - \frac{\varepsilon_{\Sigma}}{0,4}\right)^{1,5+C} \\
 &\text{для } \varepsilon_{\Sigma} = 0,41 - 0,7 \\
 &\quad k_{\varepsilon} = 1 + 0,87(\varepsilon_{\Sigma} - 0,4)^{0,5}
 \end{aligned}
 \tag{2.17}$$

Границю текучості металу після кліті визначаємо по виразу:

$$\sigma_{т1} = \sigma_{т0} + \Delta\sigma_{т} \cdot k_{\varepsilon}. \tag{2.18}$$

Розраховуємо границю текучості:

$$C_3 = 0,08 + 0,0004 + 0,0667 + 0,0015 + 0,0040 = 0,153;$$

$$\sigma_{т0} = 210 + 263 \cdot 0,153 = 250,2 \text{ Н/мм}^2;$$

$$\Delta\sigma_{т} = 209 + 460 \cdot 0,153 = 279,4 \text{ Н/мм}^2;$$

$$k_{\varepsilon} = 1 - \left(1 - \frac{0,283}{0,4}\right)^{1,58} = 0,86,$$

тоді, підставивши отримані значення, одержимо:

$$\sigma_{т1} = 250,2 + 279,4 \cdot 0,86 = 491 \text{ Н/мм}^2.$$

Границя текучості металу після деформації з урахуванням впливу температури й швидкості деформації (вираження розділу 2.2) [10] дорівнює:

$$\sigma'_{т1} = n_u \cdot n_t \cdot \sigma_{т0} + \Delta\sigma_{т} \cdot k_{\varepsilon}; \tag{2.19}$$

границю текучості металу на міжклітєвому проміжку визначимо по формулі:

$$\sigma_{T(i-1)} = n_t \cdot \sigma_{T0} + \Delta\sigma_T \cdot k_{\varepsilon(i-1)}; \quad (2.20)$$

Середній опір металу у вогнищі деформації дорівнює:

$$\sigma_\phi = 1,15[\sigma_{T(i-1)} + 0,67(\sigma'_{T1} - \sigma_{T(i-1)})]; \quad (2.21)$$

де n_μ і n_t – коефіцієнти, що враховують вплив відповідно швидкості деформації й температури металу перед деформацією, визначаємо з виразів [10]:

$$\left. \begin{aligned} n_u &= 1 + 0,38\left(0,5 + \frac{\ln U}{13,8}\right)^2; \\ n_t &= 0,8 + 0,23\left(1 - \frac{tn}{300}\right)^2; \end{aligned} \right\} \quad (2.22)$$

Швидкість деформації визначаємо по виразу:

$$U = V \cdot \varepsilon / l_c \quad (2.23)$$

де l_c – довжина дуги контакту.

Оскільки довжина дуги l_c поки невідома, попередньо застосовуємо l_c/l_d :

$$\text{кліті } 1 - l_c \sim (1,3 - 1,5) \cdot l_d, \quad l_d = \sqrt{R \cdot \Delta h}$$

де $R = 225$ мм - радіус робочого валка

Для кліті 1 маємо:

$$l_c = 1,4 \sqrt{225 \cdot 0,65} = 16,93 \text{ мм.}$$

$$U = 9670 \cdot 0,283 / 16,93 = 162 \text{ с}^{-1},$$

$$\ln U = 5,09$$

$$\begin{aligned}
 n_u &= 1 + 0,38 \left(0,5 + \frac{5,09}{13,8} \right)^2 = 1,29 \\
 n_t &= 0,8 + 0,23 \left(1 - \frac{25}{300} \right)^2 = 0,993. \\
 \sigma'_{\tau 1} &= 1,29 \cdot 0,993 \cdot 250,2 + 279,4 \cdot 0,86 = 561 \text{ Н/мм}^2; \\
 \sigma_{\tau(i-1)} &= \sigma_{\tau 0} = 250,2 \text{ Н/мм}^2. \\
 \sigma_{\phi} &= 1,15 \cdot [250,2 + 0,67(561 - 250,2)] = 527 \text{ Н/мм}^2.
 \end{aligned}$$

Опір металу деформації на вході у валки й на виході з валків (без обліку натягу) рівні:

$$\begin{aligned}
 \sigma_{\phi 0} &= 1,15 \cdot n_t \cdot \sigma_{\tau 0}; \\
 \sigma_{\phi 0} &= 1,15 \cdot 0,993 \cdot 250,2 = 286 \text{ Н/мм}^2, \\
 \sigma_{\phi 1} &= 1,15 \cdot \sigma'_{\tau 1} = 1,15 \cdot 561 = 645 \text{ Н/мм}^2.
 \end{aligned} \tag{2.24}$$

2.2.4. Визначення довжини дуги контакту

$$l'_c = \frac{c + \sqrt{c^2 + 4R\Delta h \left(1 - c \frac{fn}{2h_{cp}}\right)}}{2 \left(1 - c \frac{fn}{2h_{cp}}\right)}; \tag{2.25}$$

$$\left. \begin{aligned}
 c &= n_{cp} \cdot \sigma_{\phi} \frac{R}{47500} \\
 x_2 &= n_1 \cdot \sigma_{\phi 1} \frac{R}{95000}
 \end{aligned} \right\}; \tag{2.26}$$

$$l_c = l'_c + x_2; \tag{2.27}$$

де n_{cp} і n_1 – коефіцієнти, що враховують вплив середніх напруг натягу й напруг натягу переднього кінця штаби:

$$n_{cp} = 1 - \frac{\sigma_n + \sigma_z}{2\sigma_{\phi}}; \quad n_1 = 1 - \frac{\sigma_n}{\sigma_{\phi 1}}, \tag{2.28}$$

Напруга, натяг змінюються в широких межах. Для реверсивного стана перед кліттю 1 напруга σ_3 дорівнює 20 - 30 Н/мм².

На проміжних участках:

$$\sigma_{II} = (0,1 - 0,2) \sigma'_{T1}, \quad \text{а} \quad \sigma_3 = (0,1 - 0,2) \sigma_{T(i-1)}.$$

Тому що розрахунок виконуємо для кліті 1, то приймаємо $\sigma_3 = 25$ Н/мм², а $\sigma_{II} = 0,15 \cdot 561 = 84,2$ Н/мм². З виразів (1.30) знайдемо:

$$n_{cp} = 1 - \frac{25 + 84,2}{2 \cdot 527} = 0,90; \quad n_1 = 1 - \frac{84,2}{645} = 0,87.$$

З вираження (2.26) знаходимо параметри c и x_2 :

Складова дуги контакту з вираження дорівнює:

$$c = 0,90 \cdot 527 \frac{225}{47500} = 2,25 \text{ мм};$$

$$x_2 = 0,87 \cdot 645 \frac{225}{95000} = 1,33 \text{ мм}.$$

$$l'_c = \frac{2,25 + \sqrt{5,05 + 4 \cdot 225 \cdot 0,65 \left(1 - 2,25 \frac{0,113}{2 \cdot 1,81}\right)}}{2 \left(1 - 2,25 \frac{0,113}{2 \cdot 1,81}\right)} = 13,81 \text{ мм}.$$

Повна довжина дуги контакту з вираження (2.27) дорівнює:

$$l_c = 13,81 + 1,33 = 15,14 \text{ мм}.$$

2.2.5. Енергосилові параметри прокатки

Середній тиск дорівнює:

$$p'_{cp} = \sigma_{\phi} \cdot (1 + C_H \cdot f_{II} \cdot l_c / h_{cp}); \quad (2.29)$$

$$C_H = 0,17 \cdot (1 + 14,7 \cdot f_H), \text{ при } f_H \leq 0,12;$$

$$C_H = 0,17 \cdot (1 + 14,7 \cdot 0,113) = 0,45,$$

і з урахуванням натягу,

$$p_{cp} = p'_{cp} \left(1 - \frac{\sigma_H + \sigma_3}{2 p'_{cp}}\right); \quad (2.30)$$

Всі необхідні параметри відомі,

$$p'_{cp} = 527(1 + 0,45 \cdot 0,113 \cdot 15,14/1,81) = 751 \text{ Н/мм}^2;$$

$$p_{cp} = 751 \left(1 - \frac{25 + 84,2}{1502}\right) = 696 \text{ Н/мм}^2.$$

Сила прокатки з вираження (2.31) дорівнює:

$$P = p_{cp} \cdot l_c \cdot B, \quad (2.31)$$

де $B = 11000$ мм ширина штаби.

$$P = 696 \cdot 0,01514 \cdot 1,1 = 10,85 \text{ МН.}$$

Момент прокатки з урахуванням впливу натягу дорівнює (на двох валках):

$$M = 2\Psi \cdot P \cdot l_c + H \cdot B \cdot R \cdot \sigma_3 \cdot 10^{-6} \left(1 - \frac{h}{H} \cdot \frac{b}{B} \cdot \frac{\sigma_H}{\sigma_3}\right); \quad (2.32)$$

$$\Psi = 0,48(l_d / l_c)^2 = 0,48 \left(\frac{\sqrt{225 \cdot 0,65}}{15,14}\right)^2 = 0,306 \quad (2.33)$$

Крутний момент на двох валках

$$M=2 \cdot 0,306 \cdot 10,85 \cdot 0,01514 + 2,3 \cdot 1030 \cdot 0,225 \cdot 25 \cdot 10^{-6} \cdot \left(1 - \frac{1,65}{2,3} \cdot \frac{1,03}{1,03} \cdot \frac{84,2}{25}\right) = 0,082 \text{ МН} \cdot \text{м}$$

Потужність на бочку валків:

$$N = 960 \cdot M \cdot V / R, \quad (2.34)$$

$$N = 960 \cdot 0,082 \cdot 9,67 / 0,225 = 3383 \text{ кВт.}$$

2.2.6. Визначення температури штаби на виході із кліті

$$t_k = \varphi t_H + \Delta t, \quad (2.35)$$

де Δt - збільшення температури у вогнищі деформації, φ - коефіцієнт, що враховує охолодження штаби на міжклітьовій ділянці ($\varphi = 0,6 - 1,0$);

$$\Delta t = 0,05 m \cdot (p_{cp} + \sigma_\phi) \ln (H/h), \quad (2.36)$$

де m - коефіцієнт, рівний для низьковуглеродистої сталі,

$$m = 2,2 - 0,65 \left(\frac{t_H}{480} - 0,042 \right)^{1,4} \quad (2.37)$$

для отриманих параметрів прокатки одержимо:

$$m = 2,2 - 0,65 \left(\frac{25}{480} - 0,042 \right)^{1,4} = 2,199;$$

$$\Delta t = 0,05 \cdot 2,199 \cdot (696 + 527) \cdot \ln (2,3/1,65) = 44,7 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$t_k = 0,9 \cdot 25 + 44,7 = 67,2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Другий прохід

Швидкість прокатки в другій кліті $V_2 = 14 \text{ м/с}$.

$$k_v = 0,56 + 0,7 \cdot (1 - 0,025 \cdot 14,0)^2 = 0,86;$$

$$f_0 = 0,86 \cdot [0,062 + 0,005 \cdot (1,5 - 0,60)] = 0,057,$$

Коефіцієнт k_d дорівнює

$$k_d = 0,5 + 1,77 \cdot 0,309 + 0,165 \cdot 0,75(1 - 3,33 \cdot 0,309) \approx 1,04$$

Коефіцієнт k_n дорівнює

$$\left. \begin{aligned} a &= 0,31 + 1,7 \cdot 0,309 = 0,84 \\ c &= 1,2 - 2,8 \cdot 0,309 = 0,33 \\ n &= 3,84 - 5,7 \cdot 0,309 = 2,08 \end{aligned} \right\}$$

$$k_n = 1,09 - 0,05 \cdot 0,75 = 1,05$$

$$k_t = 0,84 + 0,33 (1,11 - 0,0044 \cdot 67,2)^{2,08} = 1,06;$$

$$f = 0,057 \cdot 1,04 \cdot 1,05 \cdot 1,0 \cdot 1,06 = 0,066;$$

$$f_n = 1,6 \cdot 0,066 - 0,018 = 0,088.$$

Сумарне обчислення у двох клітках:

$$\varepsilon_\Sigma = \frac{H_0 - h_2}{H_0} = \frac{2,3 - 1,14}{2,3} = 0,50.$$

Визначимо коефіцієнт зміцнення металу k_ε :

$$k_\varepsilon = 1 + 0,87(0,50 - 0,4)^{0,5} = 1,28;$$

$$l_d = \sqrt{225 \cdot 0,51} = 10,71 \text{ мм},$$

$$l_c = 2,3 \cdot 10,71 = 24,63 \text{ мм},$$

$$U = 14000 \cdot 0,309 / 24,63 = 176 \text{ с}^{-1}, \ln U = 5,17.$$

$$n_u = 1 + 0,38 \left(0,5 + \frac{5,17}{13,8} \right)^2 = 1,29;$$

$$n_t = 0,8 + 0,23 \left(1 - \frac{67,2}{300}\right)^2 = 0,94.$$

$$\sigma_{\tau l} = 250,2 + 279,4 \cdot 1,28 = 608 \text{ Н/мм}^2;$$

$$\sigma'_{\tau l} = 1,29 \cdot 0,94 \cdot 250,2 + 279,4 \cdot 1,28 = 661 \text{ Н/мм}^2;$$

$$\sigma_{\tau(i-l)} = 0,94 \cdot 250,2 + 279,4 \cdot 0,86 = 475 \text{ Н/мм}^2.$$

$$\sigma_{\phi} = 1,15 \cdot [475 + 0,67(661 - 475)] = 689 \text{ Н/мм}^2.$$

Задній і передній натяг штаби в кліті 2 і інші параметри рівні:

$$\sigma_3 = 0,15 \cdot 475 = 71,3 \text{ Н/мм}^2.$$

$$\sigma_{\pi} = 0,15 \cdot 608 = 91,2 \text{ Н/мм}^2.$$

$$n_{cp} = 1 - \frac{71,3 + 91,2}{1378} = 0,88;$$

$$n_l = 1 - \frac{91,2}{689} = 0,87.$$

Допоміжні параметри й довжина дуги контакту з урахуванням пружних деформацій валків і штаби: $\sigma_{\phi l} = 1,15 \cdot 661 = 760 \text{ Н/мм}^2;$

$$c = 0,88 \cdot 689 \frac{225}{47500} = 2,87 \text{ мм};$$

$$x_2 = 0,87 \cdot 760 \frac{225}{95000} = 1,57 \text{ мм}.$$

$$h_{cp} = \sqrt{H \cdot h} = \sqrt{1,65 \cdot 1,14} = 1,37 \text{ мм};$$

$$l'_c = \frac{2,87 + \sqrt{8,24 + 4 \cdot 225 \cdot 0,51 \left(1 - 2,87 \frac{0,088}{2 \cdot 1,37}\right)}}{2 \left(1 - 2,87 \frac{0,088}{2 \cdot 1,37}\right)} = 12,93 \text{ мм};$$

$$l_c = 12,93 + 1,57 = 14,50 \text{ мм};$$

Знаходимо енергосилові параметри:

$$C_H = 0,17(1 + 14,7 \cdot 0,088) = 0,39;$$

$$p'_{cp} = 689(1 + 0,39 \cdot 0,088 \cdot 14,50/1,37) = 939 \text{ Н/мм}^2$$

$$p_{cp} = 939(1 - \frac{71,3 + 91,2}{1878}) = 858 \text{ Н/мм}^2$$

$$P = 858 \cdot 0,01450 \cdot 1,03 = 12,81 \text{ МН.}$$

$$\Psi = 0,48(\frac{\sqrt{225 \cdot 0,51}}{14,50})^2 = 0,262$$

$$M = 2 \cdot 0,262 \cdot 12,81 \cdot 0,01450 + 1,65 \cdot 0,225 \cdot 71,3 \cdot 10^{-3}(1 - \frac{1,14}{1,65} \cdot \frac{91,2}{71,3}) = 0,1 \text{ МН} \cdot \text{м}$$

$$N = 960 \cdot 0,1 \cdot 14/0,225 = 5973 \text{ кВт}$$

$$m = 2,2 - 0,65(\frac{67,2}{480} - 0,042)^{1,4} = 2,17;$$

$$\Delta t = 0,05 \cdot 2,17 \cdot (858 + 689) \cdot \ln(1,65/1,14) = 62,1 \text{ }^{\circ}\text{C.}$$

Тому що після другої кліті виробляється смотка штаби в рулон і наступну прокатку у зворотньому напрямку, то штаба прохолоджується інтенсивніше, ніж між клітьями, тому приймаємо $\varphi = 0,7$.

$$t_k = 0,7 \cdot 67,2 + 62,1 = 109,14 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Третій прохід

Визначимо швидкість прокатки в третьому проході, після реверсування:

$$V_3 = h_4 \cdot V_4 / h_3 = 0,6 \cdot 16/0,80 = 12 \text{ м/с}$$

Інші параметри визначимо по алгоритму розрахунки для кліті 1:

$$k_v = 0,56 + 0,7(1 - 0,025 \cdot 12)^2 = 0,90;$$

$$f_0 = 0,90 \cdot [0,062 + 0,005 \cdot (1,5 - 0,6)] = 0,06.$$

Коефіцієнт k_d дорівнює:

$$k_d = 0,5 + 1,77 \cdot 0,298 + 0,165 \cdot 1,5(1 - 3,33 \cdot 0,298) = 1,03.$$

Коефіцієнт k_n дорівнює:

$$k_n = 1,09 - 0,05 \cdot 0,75 = 1,05$$

$$a = 0,31 + 1,7 \cdot 0,298 = 0,82$$

$$c = 1,2 - 2,8 \cdot 0,298 = 0,37$$

$$n = 3,84 - 5,7 \cdot 0,298 = 2,1$$

$$k_t = 0,82 + 0,37(1,11 - 0,0044 \cdot 109,14)^{2,1} = 0,96;$$

$$f = 0,06 \cdot 1,03 \cdot 1,05 \cdot 1,0 \cdot 0,96 = 0,062;$$

$$f_n = 1,6 \cdot 0,062 - 0,018 = 0,081.$$

Сумарне обтиснення в трьох клітках:

$$\varepsilon_\Sigma = \frac{H0 - h3}{H0} = \frac{2,3 - 0,80}{2,3} = 0,65.$$

Визначимо коефіцієнт зміцнення металу k_ε :

$$k_\varepsilon = 1 + 0,87(0,65 - 0,4)^{0,5} = 1,44;$$

$$l_d = \sqrt{225 \cdot 0,34} = 8,75 \text{ мм}$$

$$l_c = 1,40 \cdot 8,75 = 12,25 \text{ мм}$$

$$U = 12000 \cdot 0,298 / 12,25 = 292 \text{ с}^{-1}, \quad \ln U = 5,68$$

$$n_u = 1 + 0,38 \left(0,5 + \frac{5,68}{13,8} \right)^2 = 1,32; \quad n_t = 0,8 + 0,23 \left(1 - \frac{109,14}{300} \right)^2 = 0,89.$$

$$\sigma_{T1} = 250,2 + 279,4 \cdot 1,44 = 653 \text{ Н/мм}^2;$$

$$\sigma'_{T1} = 1,32 \cdot 0,89 \cdot 250,2 + 279,4 \cdot 1,44 = 696 \text{ Н/мм}^2;$$

$$\sigma_{T(i-1)} = 0,89 \cdot 250,2 + 279,4 \cdot 0,86 = 463 \text{ Н/мм}^2.$$

$$\sigma_{\phi} = 1,15[463 + 0,67(696 - 463)] = 712 \text{ Н/мм}^2.$$

$$\sigma_{\phi 1} = 1,15 \cdot 696 = 800 \text{ Н/мм}^2.$$

Задній, передній натяг штаби третього проходу й інші параметри равни:

$$\sigma_3 = 0,15 \cdot 463 = 69,5 \text{ Н/мм}^2.$$

$$\sigma_{\Pi} = 0,15 \cdot 653 = 98,0 \text{ Н/мм}^2.$$

$$n_{cp} = 1 - \frac{69,5 + 98}{1424} = 0,88,$$

$$n_1 = 1 - \frac{98}{712} = 0,86.$$

Допоміжні параметри й довжина дуги контакту з урахуванням пружних деформацій валків і штаби:

$$c = 0,88 \cdot 712 \frac{225}{47500} = 2,97 \text{ мм};$$

$$x_2 = 0,86 \cdot 800 \frac{225}{95000} = 1,63 \text{ мм}.$$

$$h_{cp} = \sqrt{H \cdot h} = \sqrt{1,14 \cdot 0,80} = 0,95 \text{ мм};$$

$$l'_c = \frac{2,97 + \sqrt{8,82 + 4 \cdot 225 \cdot 0,34(1 - 2,97 \frac{0,081}{2 \cdot 0,95})}}{2(1 - 2,97 \frac{0,081}{2 \cdot 0,95})} = 11,21 \text{ мм};$$

$$l_c = 11,21 + 1,63 = 12,84 \text{ мм}.$$

Знаходимо енергосилові параметри:

$$C_H = 0,17(1 + 14,7 \cdot 0,081) = 0,37;$$

$$p'_{cp} = 712(1 + 0,37 \cdot 0,081 \cdot 12,84/0,95) = 1000 \text{ Н/мм}^2$$

$$p_{cp} = 1000 \left(1 - \frac{69,5 + 98}{2000} \right) = 916 \text{ Н/мм}^2$$

$$P = 916 \cdot 0,01284 \cdot 1,1 = 12,11 \text{ МН.}$$

$$\Psi = 0,48 \left(\frac{\sqrt{225 \cdot 0,34}}{12,84} \right)^2 = 0,222$$

$$M = 2 \cdot 0,222 \cdot 12,11 \cdot 0,01284 + 1,14 \cdot 0,225 \cdot 69,5 \cdot 10^{-3} \left(1 - \frac{0,80}{1,14} \cdot \frac{98}{69,5} \right) = 0,069 \text{ МН} \cdot \text{м}$$

$$N = 960 \cdot 0,069 \cdot 12 / 0,225 = 3533 \text{ кВт}$$

$$m = 2,2 - 0,65 \left(\frac{109,14}{480} - 0,042 \right)^{1,4} = 2,14;$$

$$\Delta t = 0,05 \cdot 2,14 \cdot (916 + 712) \cdot \ln(1,14 / 0,80) = 61,7 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$t_k = 0,9 \cdot 109,14 + 61,7 = 160 \text{ }^\circ\text{C.}$$

Четвертий прохід

Швидкість прокатки в четвертому проході $V_4 = 16 \text{ м/с.}$

$$k_v = 0,56 + 0,7(1 - 0,025 \cdot 16,0)^2 = 0,81;$$

$$f_0 = 0,81 \cdot [0,062 + 0,005 \cdot (1,5 - 0,6)] = 0,054$$

Коефіцієнт k_d дорівнює

$$k_d = 0,5 + 1,77 \cdot 0,250 + 0,165 \cdot 1,5(1 - 3,33 \cdot 0,250) = 0,1$$

Коефіцієнт k_n дорівнює

$$k_n = 1,09 - 0,05 \cdot 0,75 = 1,05$$

$$a = 0,31 + 1,7 \cdot 0,250 = 0,74$$

$$c = 1,2 - 2,8 \cdot 0,250 = 0,5$$

$$n = 3,84 - 5,7 \cdot 0,250 = 2,42$$

$$k_t = 0,74 + 0,5(1,11 - 0,0044 \cdot 160)^{2,42} = 0,8;$$

$$f = 0,054 \cdot 0,98 \cdot 1,05 \cdot 1,0 \cdot 0,8 = 0,046;$$

$$f_{\pi} = 1,6 \cdot 0,046 - 0,018 = 0,056.$$

Сумарни обтиск в чотирьох клітках:

$$\varepsilon_{\Sigma} = \frac{H0 - h4}{H0} = \frac{2,3 - 0,60}{2,3} = 0,74.$$

Визначимо коефіцієнт зміцнення металу k_{ε} :

$$k_{\varepsilon} = 1 + 0,87(0,74 - 0,4)^{0,5} = 1,51;$$

$$l_d = \sqrt{225 \cdot 0,20} = 6,71 \text{ мм}$$

$$l_c = 2,3 \cdot 6,71 = 15,43 \text{ мм}$$

$$U = 16000 \cdot 0,250 / 15,43 = 259 \text{ с}^{-1}, \ln U = 5,56$$

$$n_{\mu} = 1 + 0,38\left(0,5 + \frac{5,56}{13,8}\right)^2 = 1,31; \quad n_t = 0,8 + 0,23\left(1 - \frac{160}{300}\right)^2 = 0,85.$$

$$\sigma_{\pi l} = 250,2 + 279,4 \cdot 1,51 = 672 \text{ Н/мм}^2;$$

$$\sigma'_{\pi l} = 1,31 \cdot 0,85 \cdot 250,2 + 279,4 \cdot 1,51 = 703 \text{ Н/мм}^2;$$

$$\sigma_{\pi(i-l)} = 0,85 \cdot 250,2 + 279,4 \cdot 0,86 = 453 \text{ Н/мм}^2.$$

$$\sigma_{\phi} = 1,15[453 + 0,67(700 - 453)] = 811 \text{ Н/мм}^2.$$

Задній і передній натяг штаби в клітці 4 і інші параметри равни:

$$\sigma_3 = 0,15 \cdot 453 = 68 \text{ Н/мм}^2.$$

$$\sigma_{\pi} = 0,15 \cdot 672 = 100,8 \text{ Н/мм}^2.$$

$$n_{cp} = 1 - \frac{68 + 100,8}{1422} = 0,88;$$

$$n_l = 1 - \frac{100,8}{811} = 0,87.$$

Допоміжні параметри й довжина дуги контакту з урахуванням пружних деформацій валків і штаби:

$$\sigma_{\phi 1} = 1,15 \cdot 700 = 805 \text{ Н/мм}^2;$$

$$c = 0,88 \cdot 811 \frac{225}{47500} = 3,38 \text{ мм};$$

$$x_2 = 0,86 \cdot 808 \frac{225}{95000} = 1,65 \text{ мм}.$$

$$h_{cp} = \sqrt{H \cdot h} = \sqrt{0,80 \cdot 0,6} = 0,69 \text{ мм};$$

$$l'_c = \frac{3,38 + \sqrt{11,4 + 4 \cdot 225 \cdot 0,20(1 - 3,38 \frac{0,052}{2 \cdot 0,69})}}{2(1 - 3,38 \frac{0,052}{2 \cdot 0,69})} = 9,44 \text{ мм};$$

$$l_c = 9,44 + 1,65 = 11,09 \text{ мм}.$$

Знаходимо енергосилові параметри:

$$C_H = 0,17(1 + 14,7 \cdot 0,056) = 0,31;$$

$$p'_{cp} = 811(1 + 0,30 \cdot 0,052 \cdot 11,09/0,69) = 1037 \text{ Н/мм}^2$$

$$p_{cp} = 1037(1 - \frac{68 + 100,8}{2074}) = 953 \text{ Н/мм}^2$$

$$P = 842 \cdot 0,01109 \cdot 1,1 = 10,88 \text{ МН}.$$

$$\Psi = 0,48 \left(\frac{\sqrt{225 \cdot 0,20}}{11,09} \right)^2 = 0,173,$$

$$M = 2 \cdot 0,173 \cdot 10,88 \cdot 0,01109 + 0,80 \cdot 1,03 \cdot 0,225 \cdot 68 \cdot 10^{-3} \left(1 - \frac{0,60}{0,80} \cdot \frac{100,8}{68} \right) =$$

$$= 0,040 \text{ МН} \cdot \text{м}$$

$$N = 960 \cdot 0,040 \cdot 16,0/0,225 = 2731 \text{ кВт}$$

$$m = 2,2 - 0,65 \left(\frac{160}{480} - 0,042 \right)^{1,4} = 2,08;$$

$$\Delta t = 0,05 \cdot 2,08 \cdot (953 + 811) \cdot \ln(0,80/0,60) = 52,8 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$t_k = 0,8 \cdot 160 + 52,8 = 181 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Результати розрахунків зводимо в таблицю 2.1.

Таблиця 2.1 - Розрахункові параметри прокатки штаби 0,6x1100 мм

№ прохода	h, мм	Δh, мм	ε, %	εΣ, %	σ _ф , Н/мм ²	ρ _{ср} , Н/мм ²	Р, МН	Ψ	М, кВт	N, кВт	v, м/с	t _к , °C
1	1,65	0,65	28,3	-	527	696	10,85	0,306	0,082	3383	9,67	67,2
2	1,14	0,51	30,9	50	689	858	12,81	0,262	0,1	5973	14	109,14
3	0,80	0,34	29,8	65	712	916	12,11	0,222	0,069	3533	12	160
4	0,60	0,20	25,0	74	811	953	10,88	0,173	0,040	2731	16	181

2.2. Розрахунок річної продуктивності реверсивного стану 1680

Визначимо темп прокатки для реверсивного стану холодної прокатки штаб 1680 (для сталі 08Ю 0,6 × 1100 мм).

(G = 20,0 т; h₂ = 1,14 мм; h₄ = 0,6мм; b = 1030мм; γ = 7,85 т/м²; V_{м1} = 14,0 м/с; V_{м2} = 16,0 м/с; V_ш = 5,0 м/с; a = 0,5 - 0,6 м/с²; b = 0,6 - 0,7 м/с²).

Визначимо час прокатки по швидкісному режимі й довжину штаби в періоди прискорення й уповільнення:

$$\left. \begin{array}{l} \tau_B = v_M / a; \quad L_y = 0,5 \cdot v_M \cdot \tau_B; \\ \tau_3 = v_M / b; \quad L_3 = 0,5 \cdot v_M \cdot \tau_3; \end{array} \right\} \quad (2.38)$$

де a й b - прискорення й уповільнення валків.

Довжина штаби, що прокочується при постійній швидкості дорівнює:

$$L_{\Pi} = L - L_y - L_{\text{ш}}; \quad L = G / h \cdot b \cdot \rho, \quad (2.39)$$

де L – довжина штаби ; G – маса звареного рулону; h – кінцева товщина штаби, b – ширина штаби, m ; ρ – питома маса металу, t/m^3 .

Машинний час при прокатці на постійній швидкості дорівнює:

$$\tau_{\Pi} = L_{\Pi} / v_M. \quad (2.40)$$

Загальний машинний час прокатки дорівнює:

$$\tau_M = \tau_B + \tau_3 + \tau_{\text{ш}} + \tau_{\Pi} \quad (2.41)$$

Довжина ділянки шва, що прокатується на зменшеній швидкості, визначається з виражень:

$$\left. \begin{aligned} \tau'_{\text{ш}} &= (v_M - v_{\text{ш}}) / a; & \tau''_{\text{ш}} &= (v_M - v_{\text{ш}}) / b; \\ L'_{\text{ш}} &= 0,5 \cdot (v_M + v_{\text{ш}}) \cdot \tau'_{\text{ш}}; & L''_{\text{ш}} &= 0,5 \cdot (v_M + v_{\text{ш}}) \cdot \tau''_{\text{ш}}; \\ \tau_{\text{ш}} &= \tau'_{\text{ш}} + \tau''_{\text{ш}}; & L_{\text{ш}} &= L'_{\text{ш}} + L''_{\text{ш}}; \end{aligned} \right\} (2.42)$$

де $\tau_{\text{ш}}$ і $L_{\text{ш}}$ - час і довжина штаби на ділянках прокатки шва ($v_{\text{ш}} = 2-5$ м/с).

Перемотування.

При перемотуванні рулону з розмативателя ділянки швів не вповільнюються, тому час перемотування розраховуємо при постійній швидкості без затримки в середині рулону.

Визначимо τ_B , τ_3 , L_y , L_3 по вираженнях (2.38):

$$\begin{aligned} \tau_B &= 12/0,6 = 20,0 \text{ с}; & L_y &= 0,5 \cdot 12 \cdot 20,0 = 120,0 \text{ м}; \\ \tau_3 &= 12/0,7 = 17,1 \text{ с}. & L_3 &= 0,5 \cdot 12 \cdot 17,1 = 102,6 \text{ м}. \end{aligned}$$

Довжина штаби із вираження (2.39) дорівнює:

$$L = 20,0 / (0,0023 \cdot 1,03 \cdot 7,85) = 1075 \text{ м};$$

$$L_{\Pi} = L_M = 1075 - 120,0 - 102,6 = 852 \text{ м}.$$

Час перемотування на постійній швидкості:

$$\tau_{\Pi} = 852 / 12 = 71 \text{ с}.$$

Машинний час перемотування:

$$\tau_{\text{мпер}} = 20,0 + 17,1 + 71 = 108,1 \text{ с}.$$

Перший прохід.

Визначимо τ_b , τ_z , L_y , L_z по вираженнях (2.38):

$$\tau_b = 14 / 0,6 = 23,3 \text{ с};$$

$$L_y = 0,5 \cdot 14 \cdot 23,3 = 163,3 \text{ м};$$

$$\tau_z = 14 / 0,7 = 20,0 \text{ с}.$$

$$L_z = 0,5 \cdot 14 \cdot 20,0 = 140,0 \text{ м}.$$

Час і довжина ділянки шва з виражень (2.42):

$$\tau'_{\text{ш}} = (14 - 5) / 0,6 = 15 \text{ с};$$

$$\tau''_{\text{ш}} = (14 - 5) / 0,7 = 13 \text{ с};$$

$$L'_{\text{ш}} = 0,5 \cdot (14 + 5) \cdot 15 = 142 \text{ м};$$

$$L''_{\text{ш}} = 0,5 \cdot (14 + 5) \cdot 13 = 123 \text{ м};$$

$$\tau_{\text{ш}} = 15 + 13 = 28 \text{ с};$$

$$L_{\text{ш}} = 142 + 123 = 265 \text{ м};$$

Довжина штаби з вираження (2.39) дорівнює:

$$L = 20,0 / (0,00114 \cdot 1,03 \cdot 7,85) = 2170 \text{ м};$$

$$L_{\Pi} = L_M = 2170 - 163,3 - 140 - 265 = 1602 \text{ м}.$$

Час прокатки на постійній швидкості:

$$\tau_{\Pi} = 1602 / 14 = 114,4 \text{ с.}$$

Машинний час прокатки в першому проході:

$$\tau_{M1} = 23,3 + 20,0 + 28 + 114,4 = 185,7 \text{ с;}$$

Другий прохід.

Визначимо τ_b , τ_z , L_y , L_z по вираженнях (2.38):

$$\tau_b = 16/0,6 = 26,7 \text{ с;}$$

$$L_y = 0,5 \cdot 16 \cdot 26,7 = 213,6 \text{ м;}$$

$$\tau_z = 16/0,7 = 22,9 \text{ с.}$$

$$L_z = 0,5 \cdot 16 \cdot 22,9 = 183,2 \text{ м.}$$

Час і довжина ділянки шва з виражень (2.42) рівні:

$$\tau'_{ш} = (16 - 4) / 0,6 = 20 \text{ с;}$$

$$\tau''_{ш} = (16 - 4) / 0,7 = 17 \text{ с;}$$

$$L'_{ш} = 0,5 \cdot (16 + 4) \cdot 20 = 200 \text{ м;}$$

$$L''_{ш} = 0,5 \cdot (16 + 4) \cdot 17 = 170 \text{ м;}$$

$$\tau_{ш} = 20 + 17 = 37 \text{ с;}$$

$$L_{ш} = 200 + 170 = 370 \text{ м;}$$

Довжина штаби з вираження (2.39) дорівнює:

$$L = 20,0 / (0,00060 \cdot 1,03 \cdot 7,85) = 4123 \text{ м;}$$

$$L_{\Pi} = L_M = 4123 - 213,6 - 183,2 - 370 = 3356 \text{ м.}$$

Час прокатки на постійній швидкості:

$$\tau_{\Pi} = 3356 / 16 = 209,8 \text{ с.}$$

Машинний час прокатки в другому проході:

$$\tau_{m2} = 26,7 + 22,9 + 37 + 209,8 = 296,4 \text{ с};$$

Сумарний машинний час із вираження (2.43) дорівнює:

$$\Sigma\tau_m = \tau_{mпер} + \tau_{m1} + \tau_{m2} \quad (2.43)$$

$$\Sigma\tau_m = 108,1 + 185,7 + 296,4 = 590,2 \text{ с}.$$

Темп прокатки визначають для реверсивного стану по наступному вираженню:

$$T = \Sigma\tau_m + t_p. \quad (2.44)$$

де $\Sigma\tau_m$ – сума машинного часу; t_p – пауза між проходами (30 - 60 с).

Після кожного проходу через обтиснення кінців штаби відбуваються втрати часу (60 - 120 с.), тоді темп прокатки одного рулону складе:

$$T = \Sigma\tau_m + t_p + 120 \cdot 3 = 590,2 + 45 + 360 = 995,2 \text{ с}.$$

Визначимо продуктивність прокатного стану.

Годинна технічно можлива продуктивність стану дорівнює:

$$A = 3600 \text{ G/T}, \quad (2.45)$$

де T - темп прокатки - час прокатки рулону до готового продукту плюс пауза між кінцем прокатки одного рулону й завданням у валки нового рулону; G - маса рулону, що прокатують.

$$A = 3600 \cdot 20/995,2 = 72,3 \text{ т/год}.$$

Фактичний річний час роботи стану визначаємо по формулі:

$$T_{\phi} = (24 - 1,5)n_{и} (K_{г} - K_{пр} - K_{кр}), \quad (2.46)$$

де $n_{и}$ – коефіцієнт використання обладнання стану ($n_{и} = 0,92-0,95$); $K_{г}$ – кількість календарних днів у році; $K_{пр}$ і $K_{кр}$ – кількість днів відповідно на планово-попереджувальні ремонти й на капітальний ремонт (ураховуються простої); 24 і 1,5 – число годин у добі й на змінний профілактичний ремонт стану.

Коефіцієнт використання стану $n_{и}$ відбиває час роботи стану без обліку простоїв величиною менш 5 хв., які не враховується в книзі рапортів начальника зміни, а також позапланові зупинки стану по різних причинах тривалістю більше 5 хв. Тому що $K_{г} = 365$ і $K_{пр} = 12$, тобто:

$$T_{\phi} = (24 - 1,5) \cdot 0,92 (365 - 12) = 22,5 \cdot 0,92 \cdot 353 = 7307 \text{ год.}$$

Річне виробництво прокату на стані визначимо по формулі:

$$A_{год} = A \cdot T_{\phi} \quad (2.47)$$

$$A_{год} = 72,3 \cdot 7307 = 528296 \text{ т/р.}$$

2.3. Усунення коливання товщини по довжині штаб

Причини, що викликають коливання товщини по довжині штаби, поділяють на три основні групи: [4].

1) коливання товщини, пов'язані безпосередньою прокаткою (швидкість, натяг і т.п.);

2) коливання товщини, викликувані неточністю розмірів підкату (коливання товщини, твердості, структури по довжині підкату й т.п.);

3) коливання товщини, що залежать від стану валків (профіль, температура, ексцентричність, зношування й т.п.).

Як відомо, на сучасних високошвидкісних станах швидкість прокатки непостійна. Прокатку штаби починають і закінчують на заправній швидкості. При переході із заправної швидкості на робочу й назад швидкість змінюється. При прокатці шва швидкість стана також знижують.

Установлено, що при зміні швидкості прокатки змінюється товщина штаби - з підвищенням швидкості товщина штаби зменшується, і навпаки. Коливання товщини при зміні швидкості прокатки тим менше, ніж м'якше й товще штаба й, навпаки, там більше, ніж жорсткіше й тонше штаба.

Причини коливання товщини штаби по її довжині при збільшенні (зменшенні) швидкості прокатки експериментально вірогідно не встановлені. По цьому питанню існує цілий ряд гіпотез. Відповідно до однієї з них, зі зростанням швидкості у вогнище деформації надходить більше змащення, відповідно до іншої - внаслідок підвищення температури штаби у вогнищі деформації змінюється опір деформації матеріалу, відповідно до третього - коефіцієнт тертя змінюється залежно від швидкості прокатки, зі зростанням її він зменшується, і навпаки. Аналізуючи вищенаведені гіпотези, можна помітити, що всі вони приводять до виводу, що зі зміною швидкості прокатки змінюється довжина дуги захвату й геометрія вогнища деформації внаслідок пружного сплюснення валків.

Якщо зазор між валками підтримувати увесь час постійним, то зі збільшенням натягу, товщина прокатуємої штаби зменшується, і навпаки. Таким чином, коливання натягу викликають різнотовщинність штаби по її довжині. Регулююча дія натягу на товщину штаби використовують у системах автоматичного регулювання товщини штаби.

Важливим фактором утворення поздовжньої різнотовщинності холоднокатаних штаб є спадкоємна різнотовщинність гарячекатаного підкату. Поздовжня різнотовщинність гарячекатаних штаб виходить через коливання температури по довжині прокатуємої штаби, великого натягу в середній частині штаби (утюжка по ширині й надмірній витяжці по довжині штаби) і інших факторів [15].

Звичайно кінці гарячекатаних штаб на 0,1 - 0,3 мм товще їхньої середньої частини, що пояснюється тим, що кінці штаб прокочуються в клітях чистової групи безперервного стана гарячої прокатки без натягу. Крім того, задній кінець прокатуємої штаби має температуру нижче, ніж інша частина штаби на 50 - 60°C. Для реверсивного стана 1680 допускається різнотовщинність по довжині штаб незалежно від товщини гарячекатаного підкату дорівнює не більше 0,2 мм. У період розгону й гальмування стана відбувається зміна зазорів між робочими валками при спливань шийок опорних валків у підшипниках рідинного тертя. При спливанні опорних валків збільшення масляного клина частково компенсується розтяганням станини кліті під дією зростаючого тиску металу на валки. Щоб установити абсолютну величину збільшення масляного клина, виміру проводять при холостому ході стана, причому зусилля, на валки при збільшенні швидкості підтримують постійним переміщенням натискних гвинтів.



Рисунок 2.1 - Вплив “ефекту масляного клина” на зміну зазору між валками стана 1680 [6].

На рис. 2.1. наведена крива, що характеризує зміну зазору між валками в клітях реверсивного стана 1680, що показує, що зі збільшенням швидкості обертання валків зазор між ними внаслідок “ефекту масляного клина” зменшується.

3 МЕХАНІЧНА ЧАСТИНА

3.1. Робоча лінія прокатного стану

Обладнання, що входить у головну лінію, складається з робочої кліти, передавальних механізмів і головного електродвигуна. Привод валків здійснюється від електродвигуна через проміжні передавальні механізми й пристрої. Механізми й пристрої, призначені для передачі обертання валанням і сприйняття виникаючих при пластичній деформації (обтисненні) металу зусиль та крутних моментів, становлять головну лінію робочої кліти (рис. 3.1).

Валки прокатних станів

Валки прокатних станів виконують основну операцію прокатки - деформацію (обтиснення) металу й надають йому необхідну форму поперечного перерізу. У процесі деформації металу обертові валки сприймають тиск, що виникає при прокатці, і передають цей тиск на підшипники. Валок складається з декількох елементів : бочки валка (діаметр D і довжиною L), що при прокатці перебуває в безпосередньому зіткненні з металом; шийок (діаметром d і довжиною l), розташованих по обидва боки бочки й валка, що опирається на підшипники, тріфів валка (діаметром d_1 і довжиною l_1), що мають вид хрестовини й службовців для з'єднання валка зі шпинделем через проміжну, теж тріфову муфту. Валки працюють в умовах безперервного стирання їхнім металом при прокатці, випробовуючи більші напруги при динамічних навантаженнях і іноді при високій і різко, що змінюється температурі. Тому до якості валків пред'являються дуже високі вимоги, тому що воно визначає нормальну роботу стану, його продуктивність і якість готового прокату.

Для станів кварто холодної прокатки застосовують куті валки з високою поверхневою твердістю (робітники валки – до 100 од. по Шору, опорні валки - 70 - 80 од. по Шору) і високою міцністю (до 800 - 900 Н/мм² або 80 - 90 кГ/мм²), валки діаметром до 300 мм виготовляють із легованої хромистої й хромованадієвої сталі 9Х и 9ХФ, а діаметром більше 300 мм - стали з підвищеним

змістом хрому (9X2), хромомолибденової (9X2МФ, 75ХМ, 65ХНМ) і хромовольфрамової (9X2В). Валки піддають термічній обробці (загартування, відпустка) по спеціальних режимах (залежно від марки сталі й розмірів валків).

Підшипники прокатних валків

Основною особливістю роботи підшипників прокатних станів є дуже високе питоме навантаження, у кілька разів перевищуюча, що допускається в нормальних підшипниках загального призначення.

Це обумовлює обмеженістю габаритів підшипників і значних напруг у шейку при порівняно невеликій її довжині. Обмежені розміри шийки валка й підшипників, і більші навантаження на підшипники при прокатці висувають особливі вимоги до конструкції підшипникових вузлів прокатних станів. Тому конструкція цих підшипників по своєму зовнішньому вигляді значно відрізняється від підшипників інших машин. Підшипники прокатних станів можна розділити на дві групи: підшипники ковзання й кочення.

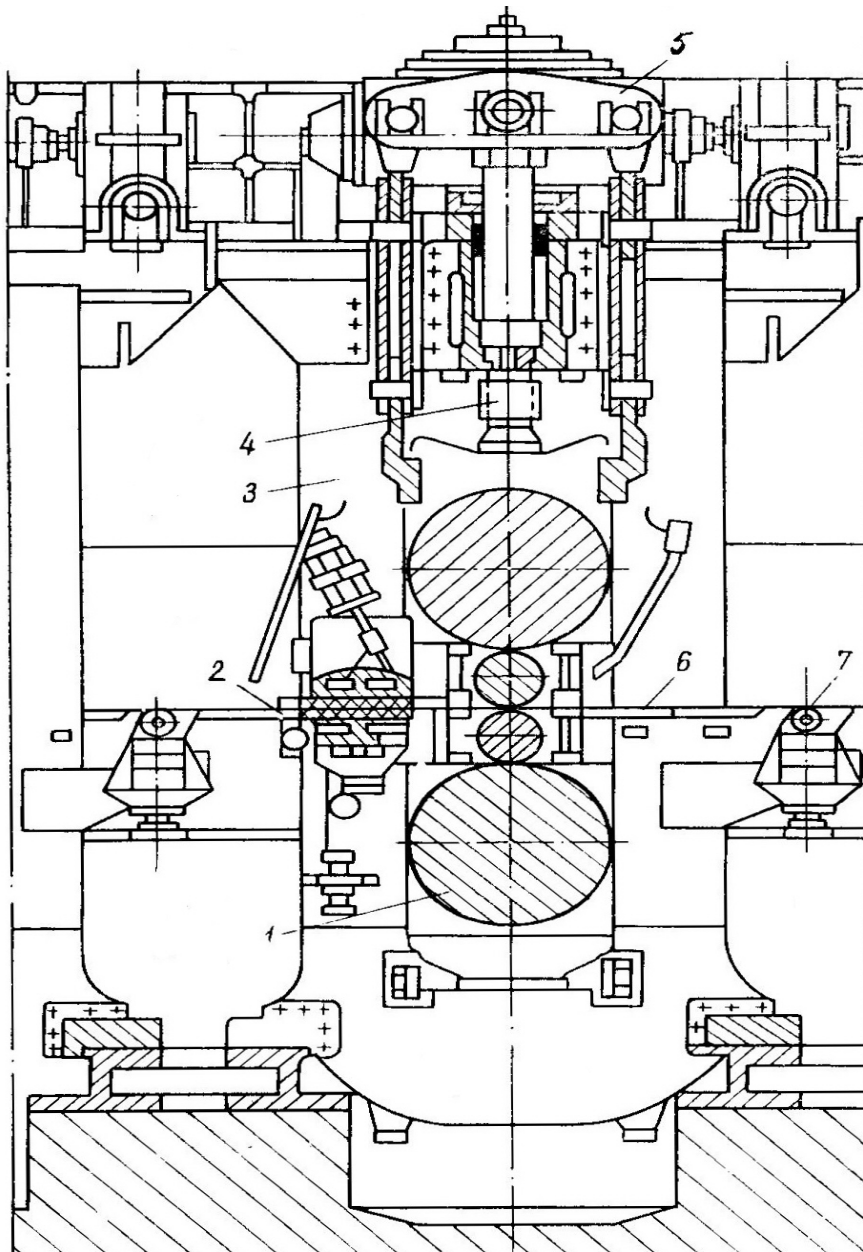
Підшипники ковзання конструктивно виконують двох видів: відкриті й закритими; підшипники кочення застосовуються роликові, з конічними й рідше зі сферичними бочкообразними роликами.

Робоча кліть стана

Робоча кліть стана холодної прокатки малюнок 3.1 складається із двох масивних станин закритого типу, що відливаються звичайно зі сталі 35Л, комплекту прокатних валків, натискного й пристроїв, що врівноважує, і проводкового стола.

Станини вгорі й унизу з'єднані між собою за допомогою болтів і траверс. До зовнішніх частин стійок станин прикріплені бічні планки, які направляють подушки в станинах і регулюють валки в осьовому напрямку. Станини робочої кліті за допомогою спеціальних припливів закріплюють на плитовинах анкерними болтами. Відстань між робочими клітьями сучасних безперервних станів холодної прокатки приймають рівним 4,3 - 5 м.

Площа перетину стійки станини, за даними О. І. Целікова, приблизно вибирають рівної $(1,0 - 1,2) d^2$, де d^2 - діаметр шийки опорного валка.



1- опорні й робітники валки з подушками; 2 - проводковий стіл; 3 - станина робочої кліти; 4 - натискний гвинт; 5 - пристрій, що врівноважує; 6 - вихідна проводка; 7 - натяжний ролик.

Рисунок 3.1 - Робоча кліть стана кварто (поздовжній розріз).

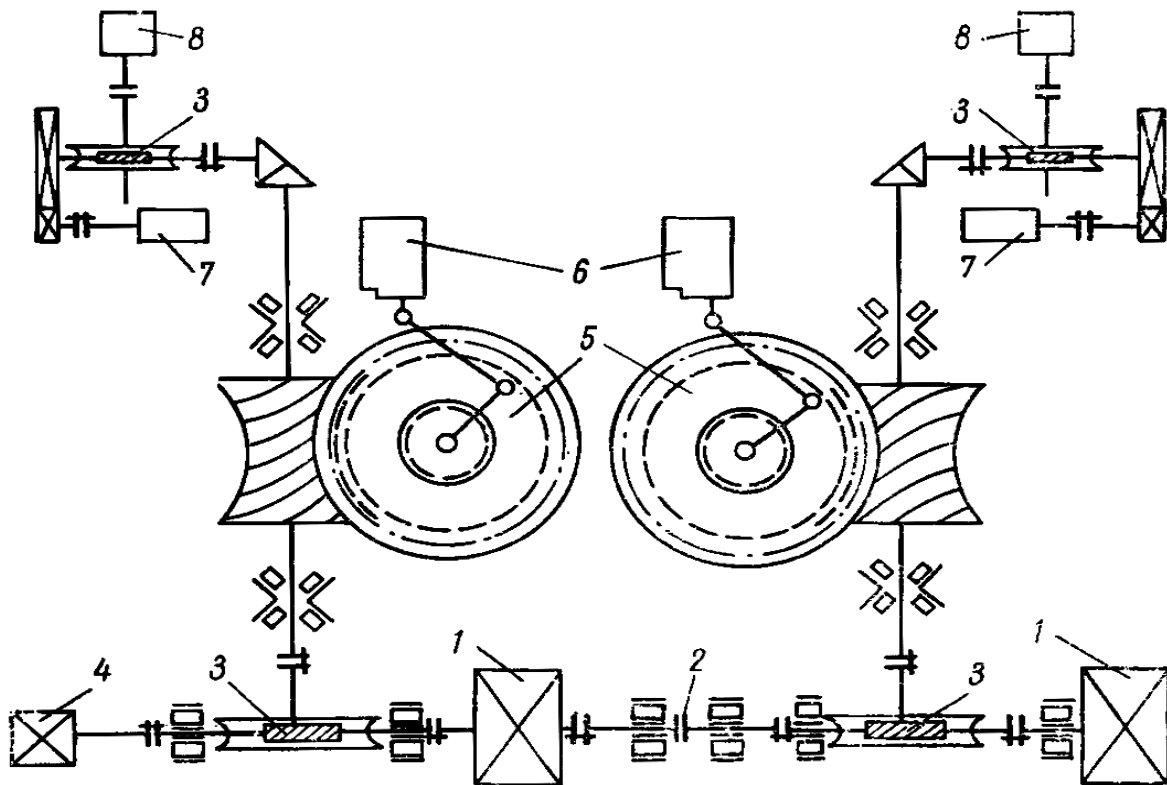
Діаметри болтів, що зв'язують станину із плитовиною, вибирають для різних станів залежно від діаметра робочих валків наступними:

$$D > 500 \text{ мм} \quad d \approx 0,10 D + 10 \text{ мм},$$

$$D < 500 \text{ мм} \quad d \approx 0,08 D + 10 \text{ мм}$$

Натискний пристрій

Для установки валків і регулювання зазору між ними у верхній частині робочої кліти передбачений натискний пристрій. У сучасних станів холодної прокатки привод кожного натискного гвинта здійснюється від електродвигуна через два глобоїдних редуктори.



1 - електродвигун; 2 - електромагнітна муфта; 3 - черв'ячний редуктор; 4 - тахогенератор типу МІ-32; 5 - глобоїдний редуктор; 6 - датчики кута пово-рота; 7 - сельсин-датчик типу БД-501АП; 8 - командоапарат типу КА 424-30

Рисунок 3.2 - Кінематична схема нажимного пристрою робочої кліти реверсивного стана 1680.

Приводи обох гвинтів зчленовуються через електромагнітну муфту, що забезпечує можливість спільної або роздільної роботи гвинтів. Останнім часом перетворення змінного струму в постійний здійснюють ртутними випрямлячами, тому генератори не встановлюють. Система живлення й керування забезпечує

мінімальний час розгону й гальмування. Точність зупинки натискних гвинтів становить $\pm 0,01$ мм. Для контролю величини розчину валків на кожному натискному гвинті встановлений селісний датчик типу БД-501. Робоча швидкість переміщення натискних гвинтів значно нижче можливої максимальної швидкості. Це зроблено з метою прискорення руху гвинтів при перевалці валків. Так, швидкості переміщення натискних гвинтів реверсивних станів 1700 і 1200 відповідно рівні, мм/хв:

Робоча швидкість	13,6 і 7,29
Максимальна швидкість	20,0 і 14,58

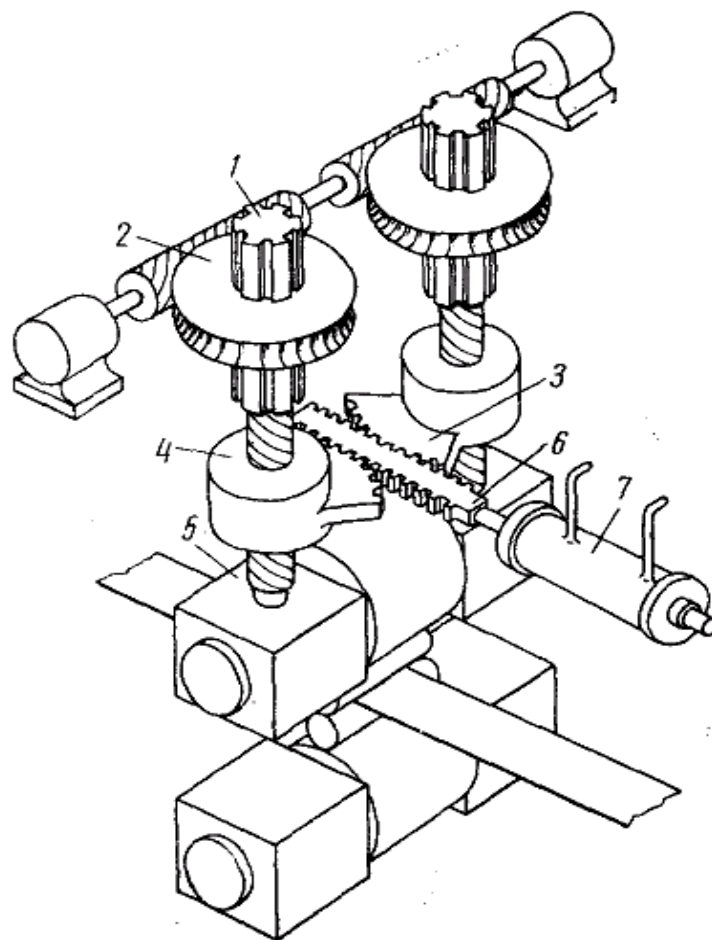
Привод натискних гвинтів станів типу 1700 здійснюється від електродвигуна потужністю 67 кВт 520/1600 об/хв. Щоб уникнути виходу гвинтів з гайок або поломок валків при переміщенні затискних гвинтів нагору або долілиць натискний пристрій має кінцеві обмежники. На малюнку 3.2 наведена кінематична схема натискного пристрою робочої кліти реверсивного двухклітьового стана 1700.

Описаний натискний пристрій надійно в роботі, однак громіздко й має велику інерцію. Останнім часом розроблена електрогідравлічна система привода натискного пристрою (малюнок 3.3).

У цьому натискному пристрої поряд із приводом від електродвигуна застосували привод від гідравлічного циліндра. Електродвигун включають для установки розчину валків; товщину смуги регулюють поворотом гайки натискного гвинта за допомогою гідравлічного циліндра, тобто тут застосували спосіб регулювання товщини смуги, здійснюваний на багатовалкових станах. Система з гідроциліндром має швидку реакцію.

На сучасних станах холодної прокатки застосовують гідравлічне зрівноважування верхніх опорного й робітника валків. Є два способи гідравлічного зрівноважування валків: за допомогою двох гідравлічних циліндрів і за допомогою одного циліндра й траверси. У цей час широке поширення одержав останній спосіб (рис. 3.1).

Пристрій, що врівноважує, складається з одного гідравлічного плунжерного циліндра, двох траверс, системи важелів і тяг. Плунжер гідравлічного циліндра розташований нагорі робочої кліті й змонтований у траверсі, що з'єднує станини. На верхній частині плунжера шарнірно прикріплена траверса, до кінців якої підвішені дві тяги. Із цими тягами шарнірно з'єднані коромисла. За рахунок піднімальної сили гідравлічного циліндра тяги притискають подушки верхнього опорного валка до натискних гвинтів. Завдяки шарнирності з'єднання вся система може з і передавати однаковий тиск на обидві подушки опорного валка.



1 - натискний гвинт; 2 - черв'ячний редуктор; 3 - зубчастий сектор; 4 - гайка натискного гвинта; 5 - подушка опорного валка; 6 - зубчаста рейка; 7 - гідроциліндр.

Рисунок 3.3 - Електрогідравлічна система привода натискного пристрою.

3.2. Розрахунок валків на міцність і деформацію

Виходячи з розрахункових даних, отриманих у розрахунках енергосилових параметрів, найбільша сила прокатки 12,81 МН буде при прокатці стали 08Ю 0,6x1100 мм в 2-м проході, $M = 0,1$ МН м.

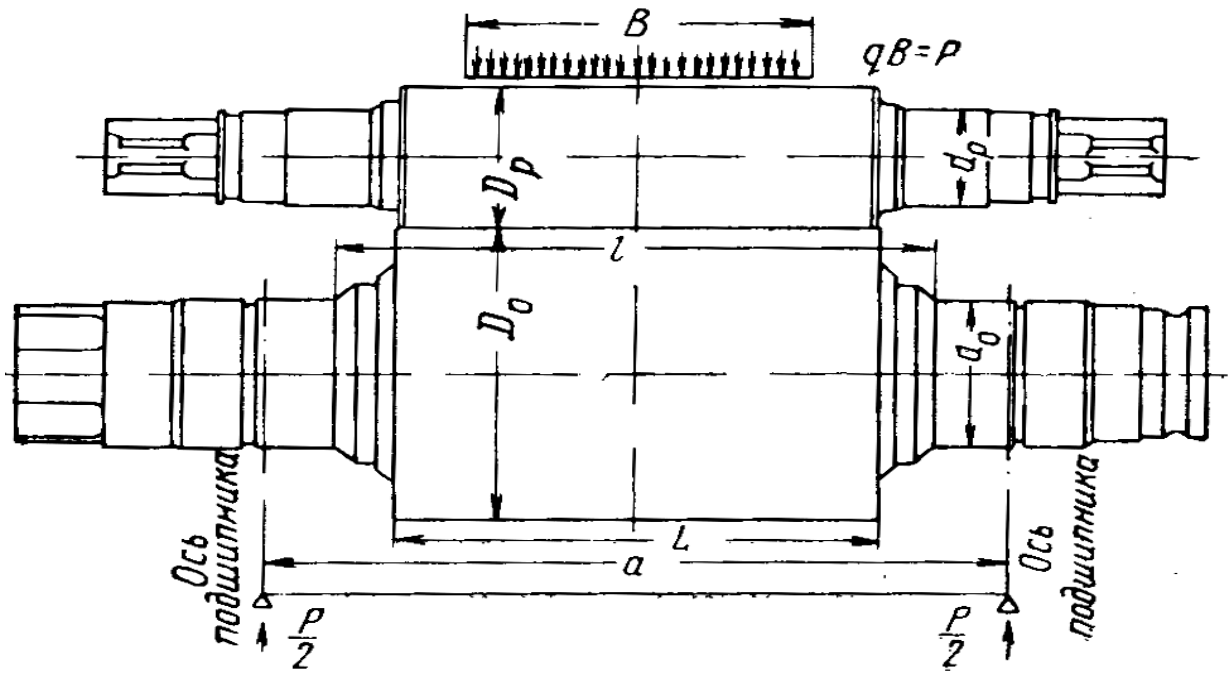


Рисунок 3.4 - До розрахунку максимально припустимого тиску на опорний валок

Знаходимо момент вигину для перетину опорного валка

$$M_{\text{виг}} = P \cdot (a - La/2) / 4; \quad (3.1)$$

$$M_{\text{виг}} = P \cdot (a - B_{\text{min}}/2) / 4. \quad (3.2)$$

де $a = 2200$ мм.

$$M_{\text{виг}} = 12,81 \cdot 10^9 (2,2 - 1,03/2) / 4 = 0,54 \cdot 10^{10} \text{ Н/мм}^2.$$

Напруга в перетині бочки валка дорівнює:

$$\Sigma_{\text{виг}} = M_{\text{виг}} / 0,1 \cdot D_{\text{оп}}^3 = 0,54 \cdot 10^{10} / 0,1 \cdot 1,150^3 \cdot 10^9 = 35,5 \text{ Н/мм}^2. \quad (3.3)$$

Напруга вигину в шейку опорного валка:

$$\sigma_{\text{ш}} = M_{\text{виг.ш}}/W_{\text{ш}} = P \cdot \ell_{\text{оп}}/0,4 \cdot d_{\text{оп}}^3, \quad (3.4)$$

де $\ell_{\text{оп}}$ і $d_{\text{оп}}$ – довжина й діаметр шийки опорного валка.

$$\sigma_{\text{ш}} = 12,81 \cdot 10^6 \cdot 1,2 \cdot 10^3 / 0,4 \cdot 0,8^3 \cdot 10^9 = 75 \text{ Н/мм}^2.$$

Напруга крутіння в шейку робочого валка:

$$\tau_{\text{кр}} = M_{\text{кр}} \cdot R_t / 0,2 \cdot d_{\text{ш}}^3 = 0,1 \cdot 10^9 \cdot 1,4 / 0,2 \cdot 0,22^3 \cdot 10^9 = 66 \text{ Н/мм}^2. \quad (3.5)$$

де $R_t = 1,4$ – коефіцієнт концентрації напруг від жолобника.

Опорний і робочий валок виготовлені зі сталі 9ХФ і 9Х2МФ із допускаючою напругою: $[\sigma] = 120 \text{ Н/мм}^2$, що вище розрахункового для бочки (шейки).

Контактні напруги, що допускаються.

Визначимо контактні напруги в робочому валку:

$$\eta = ((1 - \nu_1^2)/E_1) + (1 - \nu_2^2)/E_2, \quad (3.6)$$

де η - коефіцієнт, що характеризує пружні властивості матеріалу валків;

ν_1 і $\nu_2 = 0,3$ – коефіцієнти Пуассона для робочого й опорного валків;

E_1 і $E_2 = 2,2 \cdot 10^5 \text{ Н/мм}^2$ – модулі пружності робочого й опорного валків.

$$\eta = ((1 - 0,3^2)/2,2 \cdot 10^5) + (1 - 0,3^2)/2,2 \cdot 10^5 = 0,828 \cdot 10^2 \text{ кН/мм}^2.$$

Тиск $q(y)$ дорівнює:

$$q = P/L = 12,81 \cdot 10^3 / 1,75 \cdot 10^3 = 7,32 \text{ кН/мм}. \quad (3.7)$$

Визначимо половину ширини смуги контакту між робочими й опорними валками:

$$b = 1,128\sqrt{(\eta \cdot P \cdot D_p \cdot D_{оп})/L_2 \cdot (D_p + D_{оп})}, \quad (3.8)$$

$$b = 1,128\sqrt{0,828 \cdot 12,81 \cdot 0,40 \cdot 1,150 \cdot 10^4 / 1,55 \cdot 10^3 \cdot (0,40 + 1,150)} = 7,88 \text{ мм.}$$

Максимальний тиск q_0 :

$$q_0 = 2 \cdot P / 3,14 \cdot L_2 \cdot b = 1,34 \text{ кН/мм}^2. \quad (3.9)$$

Найбільш навантажена крапка розташована від поверхні на відстані:

$Z = 0,78 \cdot b = 0,78 \cdot 7,88 = 6 \text{ мм}$, а головна нормальна напруга $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ і еквівалентні напруги рівні:

радіальна напруга $\sigma_1 = \sigma_Z = -0,78 \cdot q_0 = -0,78 \cdot 1,34 = -1,04 \text{ кН/мм}^2$;

осьова напруга $\sigma_2 = \sigma_B = -0,288 \cdot q_0 = -0,288 \cdot 1,34 = -0,38 \text{ кН/мм}^2$;

окружна напруга $\sigma_3 = \sigma_X = -0,18 \cdot q_0 = -0,18 \cdot 1,34 = -0,24 \text{ кН/мм}^2$;

еквівалентна напруга $\sigma_{\text{екв}} = \sigma_1 - \sigma_3 = -1,04 + 0,24 = -0,8 \text{ кН/мм}^2$.

Як треба з розрахунків, тах тиск q_0 й еквівалентна напруга $\sigma_{\text{екв}}$ – менше допускаємих.

Таблиця 3.1 - Контактні напруги, що допускаються, залежно від твердості опорного валка

Твердість HSD	тах тиск, що допускається [q_0], кН/мм ²	Еквівалентна напруга, що допускається, [$\sigma_{\text{екв}}$], кН/мм ²
30	1,6	0,95
40	2,0	1,2
60	2,2	1,3
85	2,4	1,45

3.3. Розрахунок шпинделів із шарнірами на бронзових вкладишах

Довжина шпинделя L визначається із припустимого кута нахилу α і необхідної максимальної відстані h між віссю валка й віссю провідного вала (рис. 3.5). З достатньою точністю вона дорівнює $L = h/\text{tg } \alpha$.

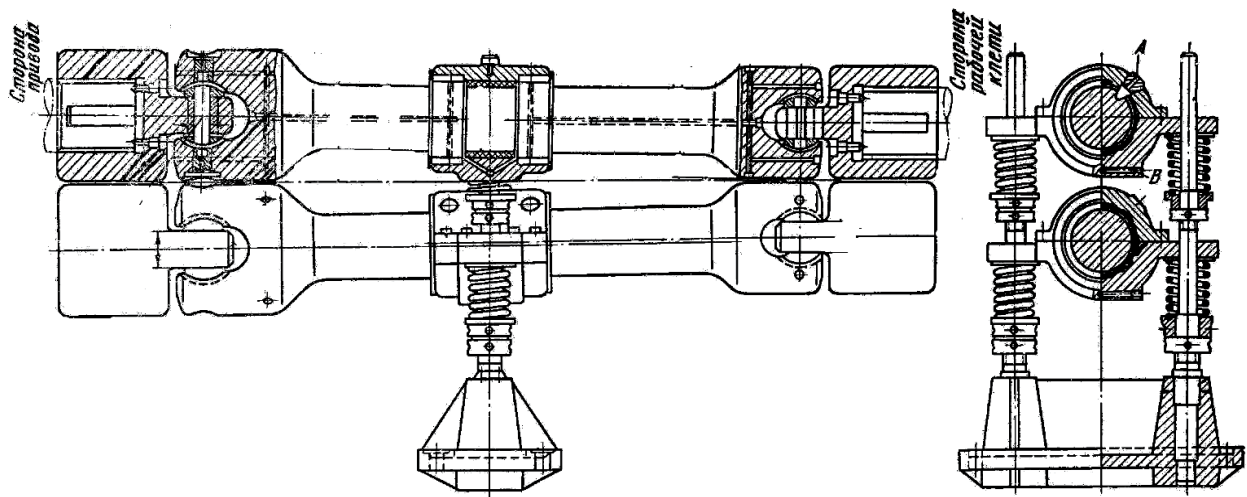


Рисунок 3.5 - Схема розташування універсальних шпинделів

Так як шпинделі передають великі крутячі моменти, то шарніри їх повинні бути досить міцними обмежується з боку робочої кліти - діаметром валків (коли верхній валок лежить на нижньому). Тому що в процесі роботи стана валки зношуються, і діаметр їх зменшується при переточуваннях, то з боку робочої кліти діаметр шарніра шпинделя повинен бути трохи менше діаметра переточеного валка. Таким чином, діаметр шарніра шпинделя з боку робочої кліти завжди менше, ніж з боку привода, тому міцність першого шарніра також буде менше міцності другого. Розраховувати на міцність треба саме шарнір, розташований з боку валків, а не з боку привода.

Визначимо плече додатка рівнодіючої сили P .

Площа трапеції й трикутників

$$F_{\text{тр}} = (h_1 + h_2) / 2 \cdot (b - c) / 2; \quad F_1 = h \cdot 2 \cdot b / 4; \quad F_2 = h_1 / 2 \cdot c / 2. \quad (3.10)$$

Статичні моменти

$$F_{тр} \cdot f = F_1 \cdot 2/3 \cdot b/2 - F_2 \cdot 2/3 \cdot c/2; \quad f = b/3 \cdot (1 - c/b) / (1 - c/b) \quad (3.11)$$

Розглянемо випадок роботи шпинделя, коли кут нахилу $\alpha = 0$ (горизонтальне положення).

$$b = 2 \sqrt{R^2 - r^2} \quad (3.12)$$

$$b = 2 \sqrt{230^2 - 105^2} = 410 \text{ мм};$$

$$f = 410 / 3 = 143 \text{ мм}.$$

Момент, що скручує одну щоку головки шпинделя

$$M = M_{кр} / 2 = 205 / 2 = 102,5 \text{ кН} \cdot \text{м} \text{ (10,25 т} \cdot \text{м)}.$$

Зусилля P , що діє на щоку головки шпинделя:

$$P = M / f = 102,5 / 0,143 = 720 \text{ кН} \quad (72 \text{ т}). \quad (3.13)$$

Заміняючи сегмент перетину рівновеликою трапецією, одержимо:

$$\begin{aligned} b_1 &= 190 \text{ мм}; \quad b_2 = 110 \text{ мм}; \quad (b_1 + b_2) = 300 \text{ мм}; \quad h = 125 \text{ мм}; \\ (b_1 + b_2) / h &= 300 / 125 = 2,4 : \eta = 0,255. \end{aligned} \quad (3.14)$$

Момент опору трапеції, заміняючи її прямокутника

$$W_{кр} = \eta (b_1 + b_2) h^2 = 0,255 \cdot 300 \cdot 125^2 = 12 \cdot 10^5 \text{ мм}^3. \quad (3.15)$$

Напруга крутіння в перетині

$$\tau = M / W_{кр} = 102,5 \cdot 10^5 / 12 \cdot 10^4 = 85 \text{ Н/мм}^2 \text{ (850 кг/см}^2\text{)}. \quad (3.16)$$

Напруга крутіння в тілі шпинделя діаметром $d = 270$ мм

$$\tau = M_{кр} / 0,2d = 205 \cdot 10^6 / 0,2 \cdot 270 = 52 \text{ Н/мм}^2 \text{ (520 кг/см}^2\text{)} \quad (3.17)$$

Кут закручування тіла шпинделя: на довжині $L = 2000$ мм

$$\varphi = M_{кр} / GJ_p \cdot 180 / \pi = (205 \cdot 10^6 \cdot 1750 \cdot 32) / 0,8 \cdot 10^6 \cdot \pi \cdot 270 \cdot 180 / \pi = 0,63^\circ. \quad (3.18)$$

На один метр довжини шпинделя.

$$\varphi = 0,63 / 25 = 0,25^\circ. \quad (3.19)$$

При геометричній побудові рівновеликої трапеції знаходимо

$$b_1 = 210 \text{ мм}; b_2 = 115 \text{ мм}; b_3 = 440 \text{ мм}; h = 155 \text{ мм}.$$

Центр ваги трапеції

$$y = h/2 \cdot [(b_1 + 2/3b_2)/(b_1 + b_2)] = 155/2 \cdot [(210 + 2/3 \cdot 115) / (210 + 115)] = 69 \text{ мм}.$$

Момент, що згинає перетин:

$$M_{из} = 720 \cdot 0,110 = 79,2 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

Напруга вигину в перетині 1-1

$$W = (3 \cdot 210 + 6 \cdot 210 \cdot 115 + 2 \cdot 115) / [6(3 \cdot 210 + 4 \cdot 115)] \cdot 155^2 = 1,12 \cdot 10^6 \text{ мм}^3;$$

Напруга крутіння в перетині 1-1

$$f = 440 / 3 \quad l = 147 \text{ мм};$$

$$M_{\text{кр}} = Pf = 720 \cdot 0,147 = 106 \text{ кН} \cdot \text{м} (11,2 \text{ Т} \cdot \text{м});$$

$$\eta = 0,246;$$

$$W_{\text{кр}} = 0,246 \cdot 325 \cdot 155^2 = 1,9 \cdot 10^6 \text{ мм}^3;$$

$$\tau = 106 \cdot 10^6 / 1,9 \cdot 10^6 = 56 \text{ Н/мм}^2 (470 \text{ кг/см}^2).$$

Розглянемо перетин під кутом $\beta = 30^\circ$ до осі шарніра шпинделя й $(\beta + \alpha) = 33^\circ$ до вертикалі:

$$b_1 = 200 \text{ мм}; b_2 = 110 \text{ мм}; b_B = 420 \text{ мм}; h = 170 \text{ мм};$$

$$y_c = 170 / 2 \cdot [(200 + 2/3 \cdot 110) / (200 + 110)] = 76 \text{ мм}; a = 130 \text{ мм};$$

$$M_{\text{виг}} = 720 \cdot 0,130 = 93,6 \text{ кН} \cdot \text{м} (9,36 \text{ Т} \cdot \text{м});$$

$$W_{\text{виг}} = (3 \cdot 200 + 6 \cdot 200 \cdot 110 + 2 \cdot 110) / [6 \cdot (3 \cdot 200 + 4 \cdot 110)] \cdot 170^2 = 0,81 \cdot 10^6 \text{ мм}^3$$

Напруга вигину й напруга крутіння, без обліку впливу кривизни бруса:

$$\sigma = 93,6 \cdot 10^6 / (0,81 \cdot 10^6) = 115 \text{ Н/мм}^2 (1150 \text{ кг/см}^2),$$

$$\eta = 0,240;$$

$$f = 420 / 3 \quad l = 140 \text{ мм};$$

$$M_{\text{кр}} = Pf = 720 \cdot 0,140 = 101 \text{ кН} \cdot \text{м} (10,1 \text{ Т} \cdot \text{м});$$

$$W_{\text{кр}} = 0,242 \cdot 310 \cdot 170^2 = 2,17 \cdot 10^6 \text{ мм}^3;$$

$$\tau = 106 \cdot 10^6 / 2,17 \cdot 10^6 = 49 \text{ Н/мм}^2 (490 \text{ кг/см}^2).$$

Напруга розтягання :

$$P_n = P \cos [90 - (\alpha + \beta)] = P \cos 57^\circ = 0,544P = 0,544 \cdot 720 = 392 \text{ кН} (39,2 \text{ Т});$$

Результуючі напруги:

$$\sigma_p = P_n / F_t = 392 \cdot 10 \cdot 2 / (420 + 200) \cdot 170 = 6,4 \text{ Н/мм}^2 (64 \text{ кг/см}^2).$$

напруга розтягання : $\sigma_E = \sigma + \sigma_p$,

$$\sigma_E = 115 + 6,4 = 121,4 \text{ Н/мм}^2 (1214 \text{ кг/см}^2).$$

Радіус нейтральної лінії кривого бруса :

$$r_H = 0,5 \cdot (420 + 200) \cdot 170 / [(200 + 2 \cdot 110 \cdot (105 + 170) / 170 \cdot \lg((105 + 170) / 105)) - 2 \cdot 110] = 165 \text{ мм}.$$

Радіус центра ваги трапеції:

$$OC = r + y_c = 105 + 76 = 181 \text{ мм}.$$

Максимальна напруга вигину:

$$\sigma_E = [93,6 \cdot 10^6 / (0,841 \cdot 10^6)] \cdot (165 - 105) / 105 = 64 \text{ Н/мм}^2 (640 \text{ кг/см}^2).$$

Таким чином, отримане напруга майже в 2 рази менше, підрахованого вище (115 Н/мм²) без обліку впливу кривизни бруса. Максимальна напруга в кінці E $\sigma = 121,4 \text{ Н/мм}^2 (1214 \text{ кг/см}^2)$ не перевищує допустиме напруження для сталі 30ХГВТ, з якої виготовлений шпindel [$\sigma_b = 800 \text{ Н/мм}^2$ і $\sigma_s = 500 \text{ н/мм}^2 (80 \text{ і } 50 \text{ кг/мм}^2)$]. Запас міцності по границі текучості становить $n = 4,1$.

Напруга вигину в качанні лопати з боку робочого валка:

$$M_{\text{виг}} = 720 \cdot 0,07 = 50,4 \text{ кН} \cdot \text{м} (5,04 \text{ т} \cdot \text{м});$$

$$W_{\text{виг}} = 157 \cdot 125 / 6 = 0,408 \cdot 10^6 \text{ мм}^3;$$

$$\sigma = 50,4 \cdot 10^6 / 0,408 \cdot 10^6 = 124 \text{ Н/мм}^2 (1240 \text{ кг / см}^2).$$

Перетин з формою прямокутника випробовує напругу крутіння:

$$b / h = (63 + 157) / 125 = 440 / 125 = 3,5;$$

$$\eta = 0,28; W_{кр} = 0,28 \cdot 440 \cdot 125^2 = 1,9 \cdot 10^6 \text{ мм}^3;$$

$$\tau = M_{кр} / W_{кр} = 205 \cdot 10^6 / (1,9 \cdot 10^6) = 108 \text{ Н/мм}^2 \text{ (1080 кг/см}^2\text{)}.$$

Лопата муфти з боку робочого валка виготовлена зі сталі 40ХН, для якої $\sigma_s = 500 \text{ Н/мм}^2$ (50 кг/мм^2); запас міцності по максимальному згинальному моменті (від границі текучості) $n = 500 / 124 = 4,03$.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА

4.1. Технічні рішення для безпечного проведення демонтажних і будівельних робіт реверсивного стану 1680 в умовах ПАТ “Запоріжсталь”

Насамперед, для виконання будівельних робіт з нового проекту прокатного стану, необхідно виконати ряд заходів щодо демонтажу колишнього встаткування:

- на всіх робочих місцях організувати безпечні умови роботи, а саме - збирання сторонніх предметів;
- чищення механізмів і встаткування від забруднення, тому що рідкі мастила і їхня суміш із металевим пилом можуть привести як до травм, так і до виникнення пожежі.

Під час проведення безпосередніх робіт зі збирання й ремонту встаткування зробити огороження, зайнятого робітниками ділянки.

При транспортуванні електромостовим краном необхідних механізмів і деталей не допускати присутність людей під вантажем у небезпечній зоні відповідно із заводською картою переміщення вантажів[25].

При проведенні вогненно-зварювальних робіт обов'язково виставити що спостерігають, забезпечивши їхніми основними засобами пожежогасіння для запобігання, і у випадки загоряння, швидкої ліквідації вогнища загоряння.

Після закінчення всіх необхідних робіт закладених у план перевірити надійність і безпека ділянок, тільки після цього забирати огороження.

4.2. Аналіз потенційно небезпечних і шкідливих факторів виробничого середовища

Технологічний процес виробництва прокату є процесом з високим механізованим рівнем праці. Саме ведення виробництва супроводжується виділенням шкідливих речовин і їхнім випаром. Основним устаткуванням створюється шум і вібрація, що є небезпечними факторами виробництва. Вплив на навколишнє зовнішнє середовище при виробництві прокату: проходить рекристалізаційний процес виділення тепла й підвищення температури в термічному відділенні, що приводить до витоку захисного й природного газу при відпалі. На ділянці прокатного стану присутні шкідливі фактори, які несприятливо впливають на людину:

- 1) Шкідливі хімічні речовини;
- 2) Шум;
- 3) Пил переважно фиброгенної дії;
- 4) Несприятливий мікроклімат у відділенні;
- 5) Вага праці[25].

Шкідливі хімічні речовини в атмосфері ділянки холодного прокату: пари масел, сірчаної кислоти. Дія на людину цього шкідливого фактора проявляється в отруєннях. У результаті даного (тривалого) проникнення в організм отрути в малій кількості може виникнути хронічне отруєння. На ділянці стану існує шкідливий несприятливий фактор - шум. Шум на ділянці стану протягом зміни перевищує норму 80 дБ, що ставиться до третього класу з рівнем 96 дБ. У таких випадках викликає роздратування нервової системи, швидку стомлюваність і погіршення слуху. При обробці металу тиском виділяється пил фиброгенної дії. Проникаючи в легені, пил може викликати специфічні професійні захворювання. Мікроклімат у відділенні холодного прокату має невелике відхилення від норми по відносній вологості, швидкості руху повітря в межах норми (таблиця 4.1.).

Таблиця 4.1. Оцінка факторів виробничого й трудового процесу
вальцювальника

№ п/п	Фактори виробничого середовища й трудового процесу	Нормативне	Фактичне	III клас шкідливі й небезпечні умови, характер праці			Тривалість дії фактору за зміну, %
				I ступінь	II ступінь	III ступінь	
1.	Шкідливі хімічні речовини, мг/ м ³ 1 клас небезпеки						
	Ангідрид хромовий	0,01	0,062			6,2	95,8
	Оксид марганцю 2 клас небезпеки	0,05	0,39			7,8	95,8
	Акролеїн 3 клас небезпеки	0,2	0,66		3,3		95,8
	Сірководень	10	3,87				95,8
	Ангідрид сірчистий	10	16,83	1,68			95,8
	Вуглець оксид	20	25	1,25			95,8
	Масла мінеральні	5	6,78	1,35			95,8
2.	Пил, переважно фіброгенної дії, мг/м ³	4,0	11,57		2,89		95,8
3.	Вібрація, дБ						
4.	Шум, дБ	80	96			16	100
5.	Інфразвук, дБ						
6.	Ультразвук, дБ						
7.	Мікроклімат в приміщенні (теплий період):						
	- Температура повітря, °С	16...27	30	3			100
	- Швидкість руху повітря, м/с	0,2-0,5	0,37				100
	- Відносна вологість повітря, %	40-60	40				100
- Інфрачервоне випромінювання, Вт/м ²	140	411		411		83	

Робоче місце вальцювальника має в наявності 5 факторів I ступеня; 1 фактор II ступеня; 2 фактора III ступеня. По показниках робоче місце варто вважати зі шкідливими й важкими умовами, що відповідає показникам списку №2.

4.3. Технічні рішення по виробничій санітарії

Сукупність практичних заходів, заснованих на наукових положеннях гігієни й виробничої санітарії містить у собі наступні вимоги:

- устаткування приміщень вентиляцією, опаленням і іншими санітарно - технічними пристроями;
- оснащення гардеробних, душових, умивальних і інших санітарно - побутових приміщень;
- благоустрій і зміст території підприємства;
- забезпечення робітників індивідуальними засобами захисту;
- запобігання забруднення навколишнього середовища рідинами, газами, парами, випромінюваннями, шумами й ін.

4.3.1. Мікроклімат

Метеорологічні умови у виробничих приміщеннях характеризуються атмосферним тиском, температурою, вологістю й швидкістю повітря, а також інтенсивністю теплового випромінювання. Вони впливають на протікання життєвих процесів в організмі людини і є важливою характеристикою гігієнічних умов охорони праці, що пов'язано із процесами терморегуляції організму.

Висока й низька вологість негативно впливає на самопочуття й здоров'я людини. Відносну вологість повітря в межах 35-60 % при температурі 18-20 °С прийнято вважати нормальною. При цих параметрах повітря і його русі зі швидкістю 0,1 - 0,2 м/с людина, що перебуває в спокої або виконує легкій роботі, випробовує відчуття комфорту. Якщо людина виконує фізичну роботу, то для створення комфорту потрібно більше низька температура навколишнього повітря порядку 14-17 °С.

Рухливість повітря також впливає на самопочуття людини. У холодний період року у виробничих приміщеннях оптимальна швидкість руху повітря приймається до 0,2 - 0,3 м/с. У літні час допускається швидкість повітря 0,3 -

1,0 м/с, а при значному тепловипромінюванні, коли застосовується повітряне душировання, швидкість руху повітря на робочих місцях досягає більших значень.

Теплове випромінювання сприяє перегріванню організму й негативно впливає на зір робітників. Надмірно сильне тепловипромінювання різко погіршує умови праці й може викликати опіки шкіри й втрату працездатності.

Для поліпшення мікроклімату у відділенні необхідна санітарно-захисна зона. Зелені насадження служать бар'єром, що захищає від пилу й диму, газів, шуму, вітрів, вони послабляють вплив негативної температури влітку й освіжають повітря. На ділянці холодного прокату застосовується загальна природна вентиляція, що здійснюється завдяки різниці температур у відділенні.

4.3.2. Склад повітря робочої зони

До складу повітря на ділянці прокатного стану входить виробничий пил. Джерела утворення пилу: прокатка смуги, шліфувальні верстати, ковпакові печі, травильне відділення й т.д.

Вплив пилу на організм людини:

- загальнотоксичне, місцеве дратівне, що інфікує, канцерогенне, що впливає на органи подиху.

Видалення пилу з підлог, стін, конструкцій і встаткування роблять гідрозмивом. Щоб запобігти влученням пилу, робітникові на початку зміни видається «пелюсток», що захищає бронхолегенну систему. Також необхідно провести реконструкцію по поліпшенню витяжної системи на стані. Цим досягнемо зниження кількості пилу, що попадає в організм людини.

4.3.3. Виробничий шум

Джерела шуму в цеху: витік пари, газів, повітря при роботі агрегатів, робота електродвигунів, прокатних станів, конвеєрів, мостових кранів.

Надмірний шум впливає на здоров'я робітників, сприяє виникненню травматизму й знижує продуктивність праці. Робота в умовах підвищеного шуму протягом усього робочого дня викликає стомлення слухових органів. Тривалий вплив шуму, що перевищує припустимі норми, приводить до втрати слуху. Шум високих тонів негативно впливає на органи, що управляють рівновагою людини в просторі. У практиці спостерігалися випадки травматизму через погану чутність сигналів транспортних і підйомно-транспортних засобів. Звук - хвилеподібно, що поширюються коливання, середовища, викликувані коливаннями тіла. Виробничий шум являє собою хаотичне сполучення комплексів простих звуків, що викликають неприємне суб'єктивне відчуття, особливо при шумі високих тонів (брязкіт, скрип).

Правильне нормування гранично-припустимої гучності виробничого шуму має важливе значення. Установлено, що шум низької частоти менш шкідливий чим шум середньої, а тим більше високої частоти.

Для захисту від впливу шуму протягом робочої зміни, робітником видаються противошумні навушники, які знижують вплив шуму на організм людини. Цим вони запобігають погіршенню слуху, швидку стомлюваність і роздратування нервової системи.

4.3.4. Санітарно - побутові приміщення

Для задоволення санітарних і побутових потреб робітників у цеху є двоповерховий будинок побутового корпусу на відстані 35м від цеху, у якому розташовані:

- 1) їдальня, розрахована на 60 чоловік з одночасним прийомом їжі;
- 2) гардеробні, з розташованими в них окремими шафами для одягу на весь штат цеху;

- 3) душові приміщення, що перебувають при гардеробних, кількість стійок 62;
- 4) умивальні приміщення, кількість 20штук;
- 5) санвузли.

У цеху розташовано 8 санвузлів, відстань до санвузлів відповідає нормам (не більше 100м). Для забезпечення працюючою питною водою в цеху 13 питних фонтанчиків і 14 автоматів газованої води. Розміщення питних крапок відповідає нормам [24].

У цеху є медпункт площею 155м² із цілодобовим режимом роботи.

4.3.5. Об'ємно - планувальні рішення цеху

Створення здорових безпечних умов праці починається із правильного вибору території для розміщення підприємства.

Цех холодної прокатки №1 розташовується з підвітряної сторони стосовно житлового району.

Обсяг виробничого приміщення на один працюючого повинен становити не менш 15м, площа не менш 4,5м.

Таблиця 4.2. Площі будинків і споруджень цеху

Приміщення цеху	Нормативне значення	Фактичне значення
1	2	3
Виробнича частина:		
Висота, м	3,2	13,7
Площа, м ²	4,5	19,2
Площа на одного робітника, м ²	15	125000
Обсяг на один робітника, м	2,8	42
Адміністративно-побутовий корпус.	2,8	84

1	2	3
Робочі кімнати керування й контор:		
Висота, м		3,3
Площа, м ²		332
Робочі кімнати конструкторного бюро:		
Висота, м		3,3
Площа на одного працюючого, м ²	6,0	15,3

4.3.6. Виробниче освітлення

Незадовільне освітлення служить причиною травматизму, негативно впливає на зір робітників і знижує продуктивність праці.

Основні вимоги до виробничого освітлення полягають у створенні достатнього по величині й рівномірному висвітленні без утворення різких контрастів освітленості й тіней, а також у попередженні сліпимості людей променями світильників.

Природне освітлення виробничих будинків здійснюється через вікна в стінах і світлові ліхтарі в дахах будинків. Штучне освітлення в металургійних цехах здійснюється лампами накаливання й люмінесцентних ламп.

Крім робочого освітлення, у виробничих приміщеннях улаштовується аварійне освітлення, призначене з метою безперебійного обслуговування агрегатів і встаткування у випадку відмови в дії робочого освітлення, а також для безперешкодного виходу назовні у випадку аварії. Незадовільне освітлення утрудняє провадження робіт, знижує продуктивність праці, стомлює робітника і є причиною травматизму й захворювання очей.

Природне освітлення ділянки реверсивного стану - комбіноване (верхнє освітлення світлові ліхтарі й прорізи плюс бічні вікна в зовнішній стіні).

Знаходимо освітлення прольоту стану, воно повинне бути $E_{\text{норм}} = 50 \text{ лм}$.
Висота світильників $H = 15 \text{ м}$. Показник приміщення визначаємо по формулі:

$$\varphi = \frac{a \cdot b}{H(a + b)}, \quad (4.1)$$

де H - висота світильника.

Підставивши числові значення одержимо:

$$\varphi = \frac{225 \cdot 27,3}{15(225 + 27,3)} = 1,62.$$

Приймаємо відношення $L / H = 1,3$.

Відстань між світильниками: $L = 1,3 \cdot 15 = 19,5 \text{ м}$, але тому що цех досить високий і є електромостові крани, те приймаємо $L = 12 \text{ м}$. Світильники розташовані в три ряди уздовж прольоту:

$$n = 225 / 12 = 19 \text{ штук};$$

усього $n = 19 \cdot 3 = 57 \text{ штук}$.

Світловий потік однієї лампи визначаємо по формулі:

$$F_{\text{л}} = \frac{E_{\text{мін}} S \cdot K}{\eta \cdot n}, \quad (4.2)$$

де $S = 6142,2 \text{ м}^2$ - освітлювана площа ділянки реверсивного стану холодної прокатки;

$K = 1,3$ - коефіцієнт запасу;

$\eta = 0,46$ - коефіцієнт використання освітлювальної техніки.

Підставивши числові значення одержимо:

$$F_{\text{л}} = \frac{100 \cdot 6142,5 \cdot 1,3}{0,46 \cdot 57} = 15227 \text{ лм.}$$

Приймаємо лампу накаливання потужністю 1000Вт і світловий потік 19000лм, тоді освітленість прольоту визначаємо по формулі:

$$E = E_{\text{min}} \frac{F_{\text{р}}}{F_{\text{л}}}, \quad (4.3)$$

Підставивши числові значення одержимо:

$$E = 50 \cdot \frac{19000}{15227} = 62 \text{ лм.}$$

Висновок: з розрахунку видно, що освітлення в прольоті стану дозволяє уникнути травматизму, захворювання очей і стомлюваність робітника. Цим також можливе досягнення підвищення продуктивності праці.

4.4. Міри пожежної безпеки

Відповідно до класифікації виробництв по пожежній безпеці ділянка безперервного прокатного стану ставиться до групи В, тому що застосовуються важкогорючі мастильні матеріали. Джерелом виникнення пожежі можуть бути: промаслені відходи; масло й електроустаткування при короткому замиканні.

У період ремонтів агрегату стану, коли проводяться зварювальні роботи, ділянка ремонту ретельно, попередньо витирається від масел. Промаслені відходи збирають у металеві контейнери, потім відвозять у спеціальні місця для утилізації. Контейнера з відходами перебувають у спеціально відведених місцях. Причиною загоряння масла в картері стану, може бути скупчення масла. По цьому в картері стану передбачена дренажна система. За допомогою,

який масло попадає в спеціальні ємності для утилізації. Також у картері може бути причиною загоряння масла, іскра отримана при короткому замиканні електроустаткування. Для запобігання цього необхідно, щоб всі електричні кола були захищені від короткого замикання. На стані передбачена наявність пожежних щитів з інвентарем і ящик з піском. На кожному щиті перебуває по двох пінного вогнегасника типу ВП - 5, а в машинному залі два вуглекислотних вогнегасники типу ВВ - 5.

У прольоті стану уздовж внутрішньої стіни на відстані 40м друг від друга встановлені 6 пожежних кранів, розміщених у спеціальних шафах, там же перебуває по одному пожежному рукаві на кран довгої 30м, на кінці рукава перебуває пожежний стовбур.

4.5. Електробезпека

Електробезпечність - це комплекс мер, спрямованих на запобігання поразки людини електричним струмом. Вплив електричного струму на організм може викликати небезпечні для здоров'я наслідки й навіть привести до смерті.

Небезпека поразки електричним струмом виникає при експлуатації несправних електроустановок, порушення ізоляції на силових і контрольних кабелях, електродвигунах, кінцевих вимикачах. Однією з основних причин поразки електричним струмом є пробій ізоляції.

При ушкодженні ізоляції електроустаткування напруги може випадково з'явитися на металевих частинах (на корпусі, кожусі, станині), які в нормальному положенні не перебувають. При сполученні з металевими конструкціями, опинившись під напругою, виникає небезпека поразки електричним струмом. Нещасні випадки можливі також при впливі електричного струму через дугу; безпосереднім зіткненні з відкритими струмоведучими частинами й проводами: випадково опинившись під напругою й ін.

Небезпека електричних поразок створюють різноманітне встаткування: електричний привід, електроустаткування підйомно-транспортних пристроїв, зварювальні апарати, високочастотні й освітлювальні установки, переносний інструмент і т.д.

Міри захисту від поразки електричним струмом.

У прокатних цехах використовують наступні міри захисту від поразки електричним струмом:

- А) захист від дотику до струмоведучих частин;
- Б) захист від дотику до встаткування, випадково опинившемся під напругою;
- В) захист від струмів надмірної сили (короткого замикання).

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

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

Приєднання корпусів і інших конструктивних металевих частин електроустаткування до заземлюючого нульового проведення; називається захисною звірофермою. Ціль захисної звіроферми перетворити пробій на корпус у коротке замикання струму через захист і швидко відключити ушкоджене встаткування від мережі.

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

При обслуговуванні електроустановок застосовують основні й додаткові захисні засоби. До основного ставляться захисні засоби, ізоляція яких надійно витримує робочу напругу установки й при користуванні якими допускається

безпосередній дотик до струмоведучих частин, що перебуває під напругою. До додаткового ставляться засоби захисту, що підсилюють дію основних засобів і які забезпечують безпеку при нарузі дотику й кроковій нарузі. До засобів індивідуального захисту ставляться: ізолююча штанга, що ізолюють кліщі, діелектричні боти, діелектричні рукавички, що ізолюють підставки ін.

Вибір схеми мережі.

Схема мережі, а отже й режим нейтралі джерела струму, що харчує цю мережу, вибираються по технологічних вимогах, а також за умовами безпеки.

По технологічних вимогах і за умовами безпеки самої оптимальної є чотирьохпровідна мережа із глухозаземленою нейтралю, тому що вона дозволяє використовувати два робітники напруги - лінійне й фазне. Від чотирьохпровідної мережі 380 В можна харчувати як силове навантаження - трьохфазну або однофазну, включаючи її між фазним і нульовим проведеннями, тобто на фазну напругу 220В при цьому досягається значне здешевлення електроустановки в цілому завдяки застосуванню меншого числа трансформаторів, меншого перетину проводів і т.д.

4.6. Рішення по захисту навколишнього середовища

Для попередження влучення в атмосферу, а також в організм людини шкідливих домішок (пари емульсії, пилу, металевих часток) пропоную встановити додаткову систему вентиляції, а також фільтри які будуть запобігати влучення шкідливих домішок в атмосферу й організм людини.

Необхідно постійно впроваджувати більше раціональні технологічні процеси, які будуть менш впливати на навколишнє середовище.

4.7. Інженерна розробка повітряної завіси цехових воріт

Для створення нормального повітрообміну в стінах цеху передбачені для природної вентиляції три ряди отворів:

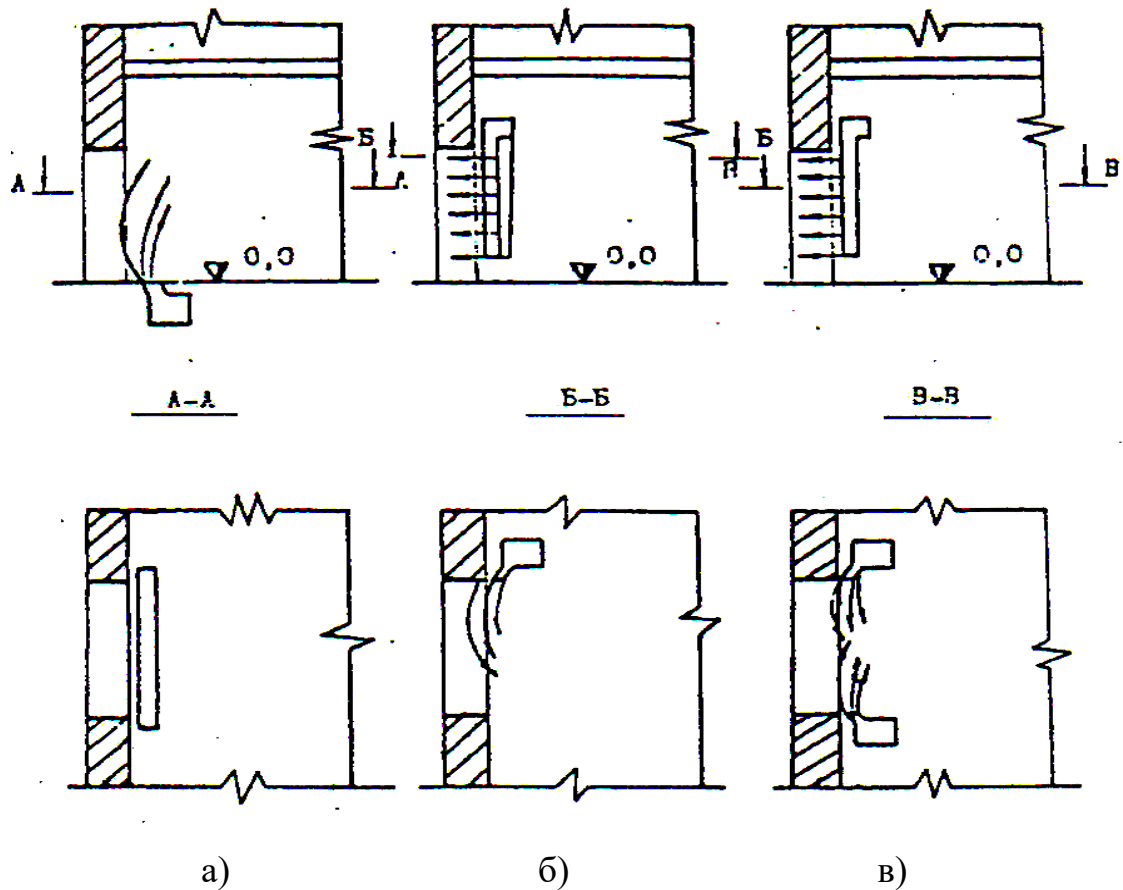
- 1 ряд - на рівні 1,5м від підлоги;
- 2 ряд - на рівні 4,5м від підлоги;
- 3 ряд - на рівні 8,5м від підлоги.

На стані передбачена місцева витяжна вентиляція у вигляді витяжних парасолів. Місцева приточна вентиляція у вигляді повітряних душів на робочих місцях вальцювальника й оператора, також повітряна завіса присутня на транспортних воротах.

Для опалення цеху в зимову пору року уздовж капітальних стін по периметрі цеху, у кімнатах відпочинку й прийому їжі, на ділянках встановлене водяне опалення. Для обігріву й перемішування повітря встановлені калорифери типу СТД - 300, 90 штук. На ділянках цеху вони розташовані так, що струмінь повітря безпосередньо спрямована на робоче місце. Для огороження припливу холодного повітря автотранспортні й залізничні ворота обладнані повітряними системами для створення завіси з теплого повітря. Швидкість виходу повітря із щілин повітряних завіс не повинна перевищувати:

- у зовнішніх дверей - 8м/с;
- у воріт і технологічних прорізів -25м/с.

Температура повітря, що підігривається повітряними завісами, рекомендується приймати не більше 50°C для зовнішніх дверей і 70°C для воріт і технологічних прорізів. При цьому температура повітря на постійних робочих місцях повинна бути не більше 14°C при легкій фізичній роботі, 12°C - при роботі середньої ваги й 8 °C - при важкій.



а - з нижньою подачею повітря; б - бічна з однієї сторони; в - бічна із двох сторін.

Рисунок 4.1 - Схеми повітряних завіс

При відсутності постійних робочих місць поблизу воріт, дверей, технологічних прорізів допускається зниження температури повітря в цій зоні при їхньому відкриванні до $5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Залежно від напрямку струменя, повітряні завіси можуть бути з нижньою подачею (рис. 4.1 а), бічний з однієї сторони (рис. 4.1 б) і із двох сторін (рис. 4.1 в).

Завіси з нижньою подачею рекомендується до застосування, коли неприпустиме зниження температури в приміщенні поблизу прорізів. Схема на малюнку б, застосовується для прорізів невеликої ширини, схема на малюнку в, за умови відсутності шкідливих пар і газів у повітрі верхньої зони.

Завіса розраховується без обліку вітрового тиску [24].

Кількість повітря, що подається в сопла завіси, при відсутності в цеху механічного припливу й витяжки або при їхньому балансі визначається :

$$G_{\text{зав.}} = 1,42 \cdot q M_{\text{пр}} \cdot F_{\text{пр}} \sqrt{\Delta P \rho_{\text{см}}} , \quad (4.4)$$

де $q = G_{\text{зав.}} / G_{\text{пр.}}$ - відношення витрати повітря, що подається вентилятором у сопло завіси, до витрати повітря, що проходить через проріз;

$M_{\text{пр}} = 0,25$ - коефіцієнт витрати;

$F_{\text{пр}} = 20 \text{ м}^2$ - площа прорізу, що відкривається;

ΔP - різниця тисків повітря навколо й усередині приміщень на рівні прорізу обладнаного завісою, визначається по формулі (4.5);

$\rho_{\text{см}}$ - площа маси повітря завіси й зовнішнього повітря при температурі, рівної нормованої, у районі воріт - $1,26 \text{ кг/м}^3$.

Розрахункова різниця тисків визначається по формулі:

$$\Delta P = h(\rho_{\text{зов.}} - \rho_{\text{п}})g , \quad (4.5)$$

де $\rho_{\text{зов.}} = 1,29 \text{ кг/м}^3$ - щільність зовнішнього повітря при (- 15°C);

$\rho_{\text{п.}} = 1,26 \text{ кг/м}^3$ - щільність повітря в приміщенні при температурі (+ 14°C).

Підставивши числові значення одержимо:

$$\Delta P = 2,5(1,29 - 1,26) \cdot 0,65 = 0,049 \text{ Па.}$$

Підставивши в (4.4) числові значення одержимо кількість повітря подаваного в сопла завіси:

$$G_{\text{зав.}} = 1,42 \cdot 0,65 \cdot 0,25 \cdot 20 \sqrt{0,049 \cdot 1,26} = 1,147 \text{ кг.}$$

Температура повітря, що подається в сопла завіси, визначається по формулі:

$$t_{\text{зав}} = \frac{t_{\text{сум.}} - t_{\text{зов.}}}{\left(1 - \frac{Q}{Q_{\text{зав.}}}\right)} + t_{\text{зов.}}, \quad (4.6)$$

де $t_{\text{сум.}} = 14^{\circ}\text{C}$ - температура суміші повітря, що проходить через відкритий проріз;

$t_{\text{зов.}} = -15^{\circ}\text{C}$ - зовнішня температура для холодного періоду;

$\frac{Q}{Q_{\text{зав}}} = 0,125$ - відношення якості теплоти, що подається з повітрям, що йде

через відкритий проріз назовні Q до теплової потужності завіси.

Підставивши у формулу (4.6) числові значення, одержимо:

$$t_{\text{зав}} = \frac{14 + 15}{0,65 \cdot (1 - 0,125)} - 15 = 36^{\circ}\text{C}.$$

Теплова потужність коллориферів повітряної завіси визначається по формулі:

$$Q_{\text{зав}} = G_{\text{зав}} \cdot (t_{\text{зав}} - t_{\text{поч}}), \quad (4.7)$$

де $t_{\text{поч}} = 14^{\circ}\text{C}$ - температура повітря, що забирається вентилятором на завісу.

Підставивши у формулу (4.7) числові значення одержимо:

$$Q_{\text{зав}} = 1,13 (36 - 14) = 24,86 \text{ кг} \cdot ^{\circ}\text{C}/\text{с}.$$

Приймаємо ширину щілини $v = 0,15\text{м}$, тоді $F_{\text{щ}} = 0,15 \cdot 5 = 0,75\text{м}^2$

Швидкість виходу повітря із щілини визначаємо по формулі:

$$V_{\text{щ}} = Q_{\text{зав}} / (n_{\text{щ}} \cdot h_{\text{щ}} \cdot \beta_{\text{зав}}), \quad (4.8)$$

де $n_{\text{щ}} = 2$ - число що роздають воздуховодів;

$\beta_{\text{зав}} = 1,2 \text{ кг}/\text{м}^3$ - площа повітря;

$h_{ш} = 2,5$ м — відстань по вертикалі від центра прорізу до нейтральної зони;

$$V_{ш} = 24,86 / (2 \cdot 2,5 \cdot 1,2) = 4,14 \text{ м/с.}$$

Висновок: із цих розрахунків видно, що повітряна завіса встановлена з метою зменшення надходження зовнішнього повітря, забезпечить збереження параметрів мікроклімату в цеху (відділенні).

У випадку виявлених факторів, які, так чи інакше, впливають на здоров'я людини, необхідно механізувати й убезпечити робоче місце обслуговуючого персоналу.

ВИСНОВОК

1. У загальній частині проекту розглянули технологічний процес виробництва прокату на реверсивних станах різних конструкцій. А також зробили вибір, що підходить для умов ЦХП-1, нового реверсивного стану холодної прокатки, розрахунок його енергосилових параметрів і річного виробництва.
2. У технологічній частині на підставі проведеного огляду й аналізу технічної й патентної літератури встановлено, що найбільш ефективним способом виготовлення тонких смуг з вуглецевої сталей є холодна прокатка на автоматизованих станах із системами контролю й регулювання основних параметрів прокатки.
3. У механічній частині зроблений опис головної лінії стану, виконаний розрахунок на міцність найбільш навантаженої кліті, що вказує на достатню міцність і надійність механізмів.
4. Для забезпечення безпечних умов праці й охорони навколишнього середовища розроблені відповідні заходи, які задовольняють вимоги нормативно - технічної документації по охороні праці й навколишнього середовища.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Королев А.А. Механическое оборудование прокатных цехов черной и цветной металлургии. Москва : Металлургиздат, 1976. 544 с.
2. Целиков А.И., Зюзин В.И. Современное развитие прокатных станов. Москва : Металлургия, 1972. 399 с.
3. Полухин П.И., Федосов Н.М. Прокатное производство. Москва : Металлургиздат, 1960. 967 с.
- 4 Николаев В.А. Холодная прокатка полос. Учебное пособие. В 2-х частях. Часть 2. Запорожье : ЗГИА, 2003. 126 с.
5. Королёв А.А. Зарубежные прокатные станы. Москва : Металлургиздат, 1958. 351 с.
6. Дрессировка холоднокатаных полос на станах 1700 № 1 и № 2. Технологическая инструкция ТИ 226 – П.ХЛ1 – 20 -2000. Запорожье, 2000. 65с.
7. Резка холоднокатаных полос на листы на агрегатах поперечной резки № 1 и № 2. Технологическая инструкция.
8. Резка холоднокатаных полос на листы на агрегате поперечной резки № 3. Технологическая инструкция ТИ 226.П.ХЛ1- 22 - 99. Запорожье, 1999. 19 с.
9. Ксензук Ф.А., Троценков Н.А. и др. Прокатка автолистовой стали. Москва : Металлургия, 1969. 296 с.
10. Ксензук Ф.А., Троценков Н.А. и др. Вальцовщик станов холодной прокатки. Москва : Металлургия, 1969. 256 с.
11. Зотов В.Ф., Елин В.И. Холодная прокатка металла. Москва : Металлургия, 1988. 288 с.
12. Термическая обработка металла в цехе холодной прокатки № 1. Технологическая инструкция ТИ 226 – П.ХЛ1 – 04 – 2001. ОАО «МКЗапорожсталь». Запорожье, 2001. 65 с.
13. Серeda Б.П. Металловедение и термическая обработка черных и цветных металлов. Учебное пособие. Запорожье: ЗГИА, 2002. 264с.

14. Целиков А.И. Прокатные станы. Москва : Металлургиздат, 1958. 432 с.
15. Гладков Г.А. Справочник прокатчика. Пособие для работников металлургических заводов. Донецк: Донбас, 1977. 136 с.
16. Николаев В.А. Профилирование и износостойкость листовых валков. Киев : Техника, 1992. 160 с.
17. Коновалов Ю.В. и др. Повышение точности прокатки листов и полос. – Киев : Техника, 1987. 144 с.
18. Бернадский В.Н., Маковецкая О.К. Сталь и алюминий – основные конструкционные материалы сварочного производства. *Металлург. и горноруд. промышленность*. 2004. № 2. С. 6-18.
19. Василев Я.Д. Современные комплексы для производства тонких и сверхтонких горячекатаных полос. *Металлург. и горноруд. промышленность*. 2002. № 5. С. 34-40.
20. Рашников В.Ф., Тахтаутдинов Р.С., Антипенко А.И. и др. Создание и освоение двухклетового реверсивного стана холодной прокатки. *Сталь*. 2003. № 7. С.41-45.
21. Василев Я.Д., Путноки А.Ю., Симененко О.В. Современный стан холодной прокатки для комбината «Запорожсталь». *Сталь*. 2007. № 1. С. 37-40.
22. Гарбер Э.А. Станы холодной прокатки (теория, оборудование, технология). Москва : Черметинформация, 2004. 416 с.
23. Гарбер Э.А., Шебаниц Э.Н., Побегайло О.А. и др. Оптимизация структуры очагов деформации на стане 1700. *Сталь*. 2007. № 1. С. 37-40.
24. Yavtushenko A.V., Protsenko V.M., Belokon' Y.A., Bondarenko Y.V. Productivity optimization of cold rolling mills. *Steel in Translation*. 2020. № 50(5). P. 335–339.
25. Ильинский Б.Д. Охрана труда на предприятиях черной металлургии. – Москва : Металлургия, 1979. 256 с.
26. Инструкция по охране труда для рабочих прокатного отделения ЦХП- 1 № 06,01 - 98. ОАО «МК Запорожсталь», Запорожье, 1998. 65 с.

27. Расчеты нагревательных печей. Под редакцией А.Ю.Тайца. Киев : Техника, 1969. 540 с.

28. Панасенко С.П., Тарасов В.К. и др. Методические указания к выполнению раздела «Охрана труда» в дипломных проектах для студентов всех специальностей. Запорожье, ЗГИА, 2000. 32 с.

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

30. Серода Б.П. Методичні вказівки до виконання випускної кваліфікаційної роботи (проекта) для студентів ЗДІА спеціальності 7.090404, 8.090404 «Обработка металлов давлением» денної та заочної форм навчання. Запоріжжя, 2006. 79 с.