МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

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

Кваліфікаційна робота / проект

_____Перший (бакалаврський)_____
(рівень вищої освіти)

на тему **_Визначення оптимальних параметрів технології виробництва штаб завтовшки 0,7 – 1,2 мм зі сталі 08Ю на реверсивному стані холодної прокатки 1700**

Виконав: студент __IV_ курсу, групи 6.1362-омт-с
спеціальності _____136 Металургія_____
(код і назва спеціальності)
освітньої програми ___Обробка металів тиском__
(код і назва освітньої програми)
_____Р. В. Русєв_____
(ініціали та прізвище)

Керівник
доц. каф. МТЕТБ, с.н.с., к.т.н. В.М. Проценко

Рецензент
доц. каф. МТЕТБ, доц., к.т.н. Т.М. Нестеренко

Запоріжжя – 2025 року

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Запорізький національний університет

(повне найменування вищого навчального закладу)

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

Кафедра ____металургійних технологій, екології та техногенної безпеки___

Рівень вищої освіти __перший (бакалаврський) рівень_____

Спеціальність _____136 «Металургія»_____

(код та назва)

Освітньо-професійна програма _____Обробка металів тиском_____

(код та назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри МТЕТБ

_____Ю.О. Бєлоконь

“_20_” ___01_____2025 року

З А В Д А Н Н Я

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ / ПРОЕКТ СТУДЕНТУ

_____Русєву Роману Володимировичу_____

(прізвище, ім’я, по батькові)

1. Тема роботи (проекту) ***Визначення оптимальних параметрів технології виробництва штаб завтовшки 0,7 – 1,2 мм зі сталі 08Ю на реверсивному стані холодної прокатки 1700*** _____

керівник роботи (проекту)__Проценко Віктор Максимович, к.т.н., с.н.с.____,

(прізвище, ім’я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від “27” 12 24 р. № 2031-с

2. Строк подання студентом роботи _____23 травня 2025 року_____

3. Вихідні дані до роботи: Матеріали переддипломної практики, курсові проекти, технічна документація ЦХП-1 ПАТ «Запоріжсталь», літературні джерела, інтернет-ресурси_____

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

Мета кваліфікаційної роботи – визначення оптимальних параметрів технології прокатки штаб зі сталі 08Ю завтовшки 0,7 – 1,2 мм при

реконструкції реверсивного стана 1700 в умовах ПАТ МК «Запоріжсталь» шляхом усунення коливань товщини по довжині штаби, регулювання товщини штаби та вдосконалення площинності штаб.

Надати характеристику виробництва холоднокатаної штаби на реверсивному стані, вибрати режими деформування, надати характеристику прокатних валків та їхнє профілювання, виконати розрахунки енергосилових параметрів прокатки і валків на міцність і деформацію.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
Схеми обладнання, план розташування реверсивного стану, графіки залежностей, ескізи калібрування валків, епюри згинальних моментів, напружень і деформацій.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата
		завдання прийняв
Вступ, реферат, 1–4, висновки, перелік літератури	Проценко В.М., доц. каф. МТЕТБ	

7. Дата видачі завдання __20.01.2025 року.__

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Реферат, вступ, розділ 1.	21.01.25 – 14.03.25	
2.	Розділи 2 - 3	17.03.25 – 18.04.25	
3.	Охорона праці (розділ 4), висновки, оформлення ПЗ і креслень, підготовка доповіді і презентації.	21.04.25 – 23.05.25	

Студент _____ **Русєв Р.В.**
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи) _____ **Проценко В.М.**
(підпис) (прізвище та ініціали)

Нормоконтроль пройдено
Нормоконтролер _____ **Карпенко Г.В.**
(підпис) (прізвище та ініціали)

Реферат

Кваліфікаційна робота містить: _78_ с., _19_ рис., _10_ табл.; використано літературних джерела _14_.

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

Об'єкт дослідження – розробка заходів щодо реконструкції реверсивного стана 1700 в умовах ПАТ МК «Запоріжсталь» з метою вдосконалення технології прокатки штаб зі сталі 08Ю завтовшки 0,7 – 1,2 мм.

Метою бакалаврської роботи є визначення оптимальних параметрів технології прокатки штаб зі сталі 08Ю завтовшки 0,7 – 1,2 мм при реконструкції реверсивного стана 1700 в умовах ПАТ МК «Запоріжсталь» шляхом усунення коливань товщини по довжині штаби, регулювання товщини штаби та вдосконалення площинності штаб.

Методи досліджень і розрахунків – стандартні методики розрахунків у програмних комплексах Mathcad Prime, Excel. Аналітичні розрахунки на основі математичних моделей і комп'ютерне моделювання у системі САПР AutoCAD Mechanical. Математичне моделювання залежності коливань товщини по довжині штаби, регулювання товщини штаби. Устаткування для поліпшення площинності штаб, залежність від режимів роботи стана 1700.

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

Результати роботи можуть бути використані при реконструкції реверсивного двоклітьового стана холодної прокатки 1700 для покращення площинності штаб і листів, а також для усунення коливань товщини по довжині штаби та для автоматичного регулювання товщини штаби.

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 ……..…….. 12
1.1.3 Реверсивні стани спеціальних конструкцій ……. 14
1.2 Технологія виробництва холоднокатаних штаб …… 18
1.2.1 Видалення окалини й характеристика НТА ……. 19
1.2.2 Прокатка на реверсивному двоклітьовому стані 1700 … 20
1.2.3 Характеристика прокатних валків та їхнє профілювання . 21
1.2.4 Мастильно-охолоджувальні рідини для холодної прокатки штаб …….…… 26
1.2.5 Відпал холоднокатаних рулонів …….…….. 28
1.2.6 Дресирування металу …….. 29
2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА …….……..…… 33
2.1. Розрахунок режимів деформації і енергосилових параметрів при холодному прокатуванні штаб …….. 33
2.1.1 Визначення геометричних параметрів осередку деформації .. 34
2.1.2 Визначення коефіцієнта тертя ……... 35
2.1.3 Розрахунок границі текучості металу ……... 36
2.1.4 Визначення довжини дуги контакту ……... 38
2.1.5 Енергосилові параметри прокатки ……... 39
2.2 Усунення коливання товщини по довжині штаби ……. 40
2.3 Автоматичне регулювання товщини штаби ..…… 42
2.4 Регулювання товщини штаби на реверсивному двоклітьовому стані 1700 ……. 44
2.5 Додаткове обладнання для поліпшення площинності штаби .. 50
3 МЕХАНІЧНА ЧАСТИНА …….…….. 54
3.1 Робоча лінія прокатного стану …….……..….. 54
3.2 Розрахунок валків на міцність і деформацію …….. 60
3.3 Розрахунок шпинделів із шарнірами на бронзових вкладишах . 62

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННІ БЕЗПЕКА ……..…….. 66
4.1 Аналіз потенційно небезпечних і шкідливих факторів виробничого середовища ……..……..….. 66
4.2 Розробка заходів за виробничою санітарією ……..….. 68
4.3 Заході з пожежної безпеки ……..……..….. 70
4.4 Заходи з електробезпеки ……..…….. 71
4.5 Розрахунок звукоізоляційного кожуха ……..….. 73
ВИСНОВКИ ……. 76
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ ……...…. 77

ВСТУП

Прокатне виробництво є завершальною ланкою металургійного циклу. Відповідно до збільшення обсягів виплавки сталі передбачається безперервне зростання випуску, розширення сортаменту й підвищення якості готового прокату. Сортамент прокатної продукції надзвичайно різноманітний. Використається понад дві тисячі марок сталі.

При малій товщині штаби, 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 клітей з напіввигином валків;
- використання на станах датчиків авторегулирования натягу, ширини і 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'язане безпосередньо з прокаткою (швидкість, натяг і т. п.); коливання товщини, викликане 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 штаби.

Таким чином в умовах відсутності сучасних засобів усунення коливань товщини штаби по довжині і ширині, необхідна реконструкція реверсивного 2-х клітьового стана 1700. Дана робота присвячена розробці заходів щодо усуненню коливань товщини штаби по довжині і ширині і регулюванню площинності штаби.

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 і транспортування.

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

Стани гарячої прокатки: обтискні, заготовочні, рейко-балкові, великосортні, середньосортні, дрібносортні, дротові, товстолистові, середньолистові, тонколистові, широкоштабові й штрипсові (випускаючі штрипс-заготівлю для труб у вигляді штаби шириною до 400 мм).

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

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

Безперервні стани складаються із трьох - шести клітей. Звичайна відстань між осями клітей 4,5 - 5 м. Трьох-, чотириклітьові безперервні стани застосовують для холодної прокатки листів товщиною 0,6 - 2,5, шириною 1300 - 1800 мм із гарячекатаної 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 гарячекатаних полос 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 чотириклітьових станів [1].

Шести- і п′ятиклітьові 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 шестиклітьових станах близько 40 м/с і на п′ятиклітьових 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 чотиривалкові по конструкції аналогічні безперервним. Прокатка на цих станах здійснюються в кілька проходів штаби через валки, тому із вхідної сторони, крім розмотувача, 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) полос і стрічки з легованих сталей і спеціальних сплавів. На цих станах прокочують штабу, попередньо прокатану до товщини 0,5 - 1,5 мм на звичайних чотиривалкових станах. Багатовалкові (12- і 20-валкові) стани оснащені 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 полосу 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 ширини 1 : 6000 і більше. Швидкість прокатки 1 - 10 м/с.

У порівнянні з безперервними продуктивність реверсивних станів в 3-5 разів менше, але вони більше «гнучкі» при настроюванні й прокатці штаб різної товщини. Також реверсивні листові стани характеризуються вартістю в 2,5 - 3 рази нижче вартості безперервного стану [1].

1.1.1 Реверсивні одноклітьові стани кварто

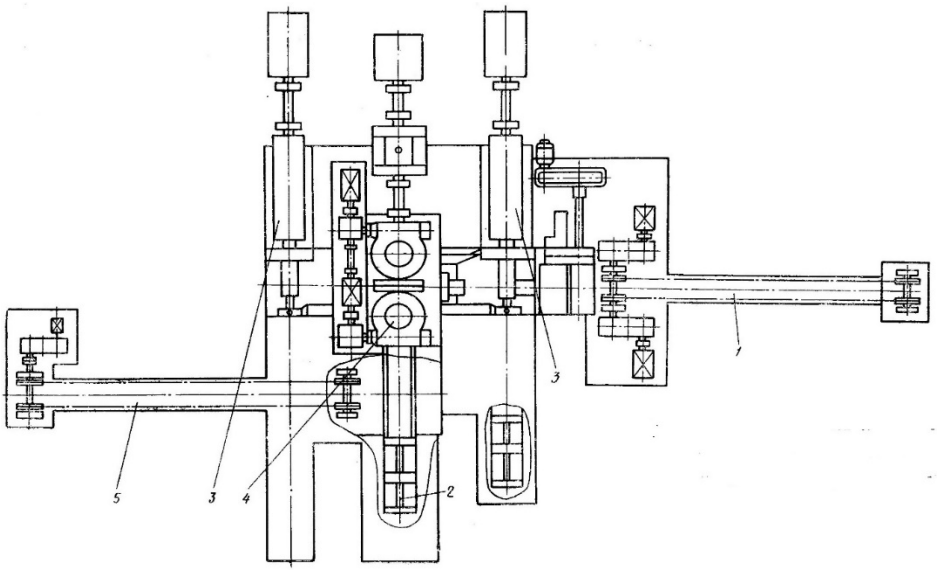
Перші реверсивні стани кварто були створені в 60-х роках минулого століття. Підкатом для реверсивних станів кварто служать травлені гарячекатані штаби із промасленою поверхнею й холоднокатані штаби, що пройшли проміжний відпал. Сумарне обтиснення при холодній прокатці штаб із маловуглецевих сталей без 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 встановлюють реверсивні стани кварто разом із багатовалковими станами. Реверсивні стани кварто переважають також у цехах з невеликим обсягом холоднокатаних листів з маловуглецевих конструкційних сталей або жерсті [2].

Розглянемо для порівняння деякі реверсивні стани кварто.

Прокатка штаб на реверсивному стані 1200 меткомбінату «Запоріжсталь» (рис. 1.1). На цьому стані встановлена чотиривалкова 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 маловуглецеву сталь 08 кп (пс) з розмірами 0,5 - 1,5 мм і 780х1050 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 різношероховатих валків призводить 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].



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

Рисунок 1.1 – Реверсивний листовий стан кварто1200 холодної прокатки заводу “Egyptian Iron and Steel” (конструкція УЗТМ)

Реверсивні стани кварто 1700 конструкції УЗТМ, розраховані залежно від сортаменту, на різні параметри: стан 500/1500х1700 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 500/1400х1700 для прокатки штаб товщиною 0,4 - 2,0 і шириною до 1550 мм із вуглецевих і легованих сталей у рулонах масою до 45 т зі швидкістю до 15 м/сек. При цьому проектна продуктивність останнього стану досягає 85 т/год.

1.1.2 Реверсивні багатовалкові стани

Однієї з різновидів реверсивних станів холодної прокатки є багатовалкові 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 багатовалкових станах катають із обтисненнями 15 - 25% за один прохід, тоді як на реверсивному стані кварто обтиснення становлять 8 - 12%. Сумарне обтиснення на багатовалкових станах досягає 97%, у результаті чого потужність головного електродвигуна використовується ефективніше, ніж на станах холодної прокатки інших типів. Багатовалкові 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 багатовалкових 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, багатовалкові стани характеризуються можливістю прокатки полос 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 і Італії характеризуються приблизно такими ж допусками на товщину. Багатовалкові

стани працюють як самостійно, так і разом із чотирьох- і п′ятиклітьовими безперервними станами холодної прокатки.

На рис. 1.2. зображено загальний вид двадцятивалкового реверсивного стану конструкції ВНІІметмашу й СКМЗ, призначеного для холодної прокатки тонкої штаби з електротехнічної кременистої сталі із границею текучості до 700 Н/мм^2.

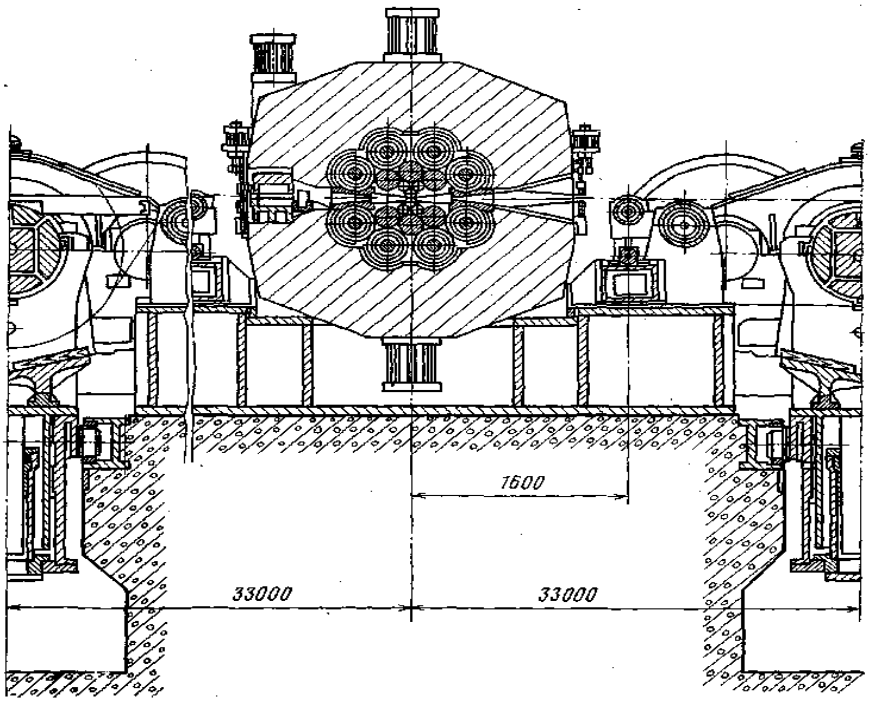


Рисунок 1.2 - Двадцятивалковий реверсивний стан 1200 холодної прокатки тонкої штаби

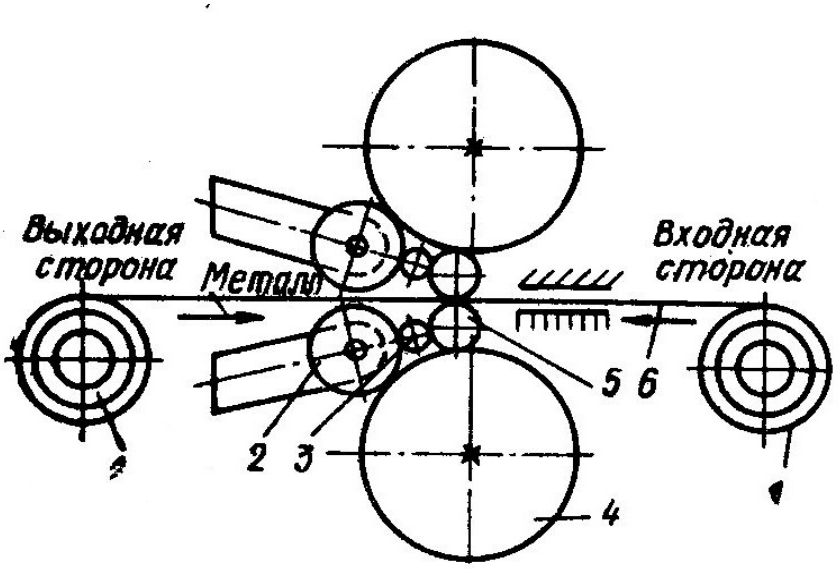
Стан складається з робочої кліті, розмотувача й двох моталок. Масивна станина великої жорсткості відлита у вигляді одного моноблока зі сталі марки 35Л. У станині симетрично осі прокатки розташовано 20 валків з довжиною бочки 1200 мм; два робочих неприводних діаметром 55-120 мм, виготовлених з високоміцної хромовольфрамової сталі; чотири (2х2) проміжних опорних неприводних з діаметром 160 мм; шість (2х3) проміжних валків з діаметром 225 мм, з яких крайні чотири (два, верхніх і два нижніх) є приводними; 4Х2=8 опорних осей, на кожній з яких п'ять прецизійних роликових 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, через редуктор (i=3,68). Максимальний натяг штаби 360 кН (30 т). 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 відпалу). Маса рулону досягає 20 т.

У робочій кліті 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 же 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 кліті розташовані ролики для виміру натягу штаби. Швидкість прокатки 3,5-10 м/с; продуктивність стану 10-20 т/год (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. Німецька фірма “Schloemann” виготовила реверсивний стан холодної прокатки типу МК (рис. 1.3), 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 - 7,5 м/сек з обтисненням за прохід до 40%. Робоча кліть стану забезпечена робочими й опорними валками діаметром 125 і 670 мм відповідно з довжиною бочки 660 мм. [2].



1 - моталки; 2 - підшипникова опора; 3 - підпірний валок; 4 - опорний валок; 5 - робочий валок; 6 - полоса.

Рисунок 1.3 - Схема стана холодної прокатки полос типу МК (конструкція фірми “Schloemann”, ФРН)

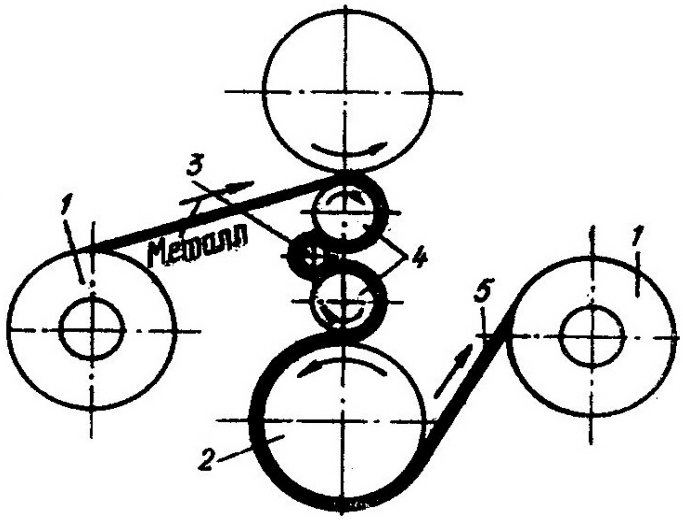
Щоб уникнути вигину робочі валки притискають до опорного за допомогою проміжних підпірних валків діаметром 85 мм і зовнішніх підшипникових опор діаметром 190 мм. Приводними валками стану є опорні, обертові від двох електродвигунів постійного струму потужністю по 490 кВт і числом обертів 0 - 400 - 1000 у хвилину. Для приводу моталок установлено 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 двоклітьового 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.

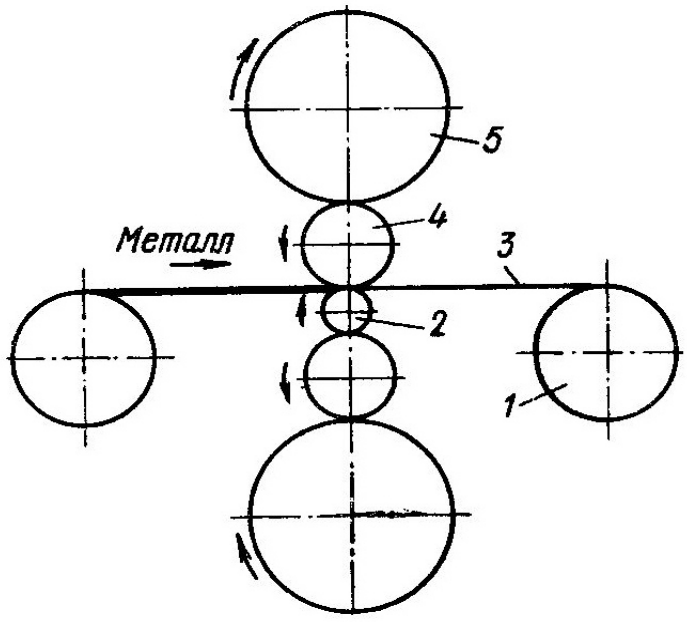
Фірмами “General Electric Co” and “United States Steel Corp” (США) розроблений новий процес холодної прокатки на реверсивному стані, названому C - B - S (Contact - Bend - Streth). Стан (рисю 1.4.) призначений для прокатки полос товщиною до 0,3 мм і шириною до 305 мм із важкодеформованих металів і сплавів 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 полоса 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 відпал ов 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 - робочі валки; 5 - штаба.

Рисунок 1.4 - Схема стану холодної прокатки полос типу C-B-S (конструкція фірми “General Electric Co” and “United States Steel Corp” (США)

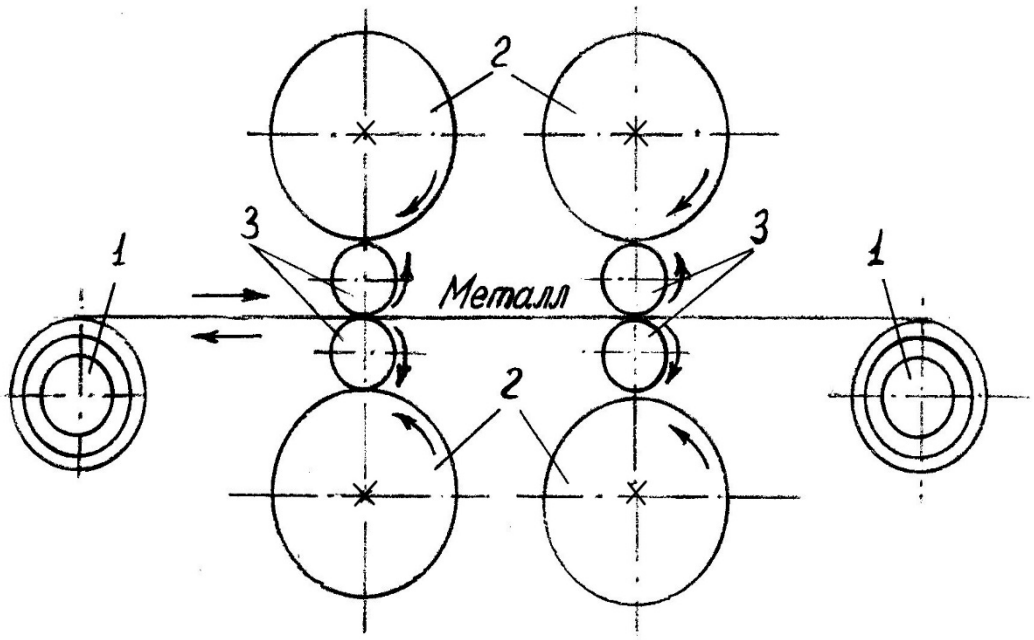
На заводі Johnes and Laughlin Steel Corp. (США) встановлений промисловий стан холодної прокатки кварто системи Tailor для прокатки штаб шириною до 10 мм із вуглецевих і нержавіючих сталей, а також кольорових металів з мінімальною різнотовщинністю по довжині й ширині штаби , розроблений фірмою “Youngstown Research and Development” США (рис. 1.5) Висока точність прокочується штаби, що, забезпечується точною установкою (в інтервалі ± 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 штаби , що прокатується. 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” двоклітьовий реверсивний стан 1700. Схема стану зображена на малюнку 1.6.



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

Рисунок 1.6 - Схема реверсивного двоклітьового 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 широкоштабового стану гарячої прокатки.

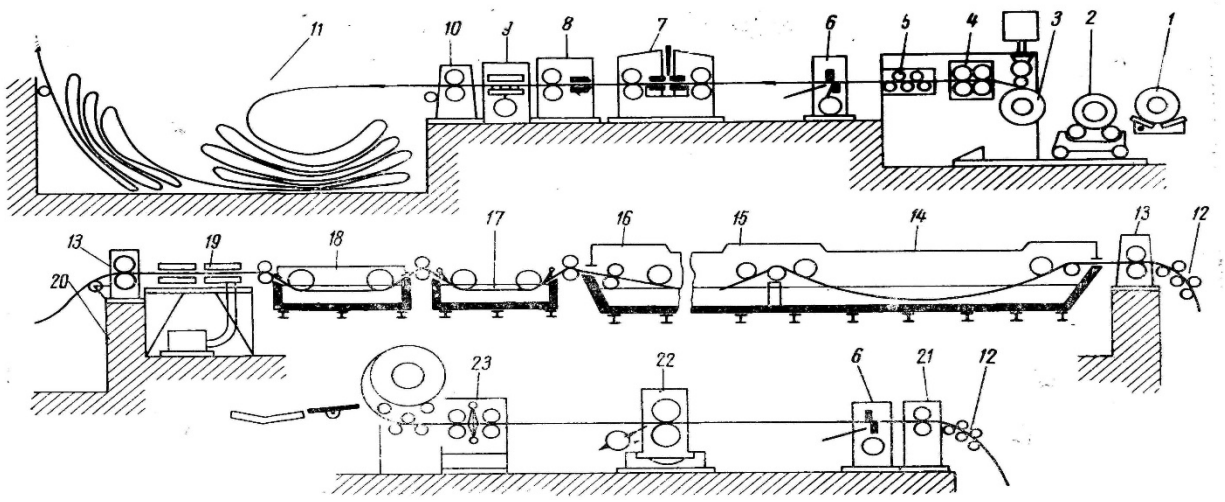
Технологія цеху холодної прокатки включає наступні найважливіші технологічні операції: травлення, прокатку, відпал, дресирування, нанесення покриттів, різання й пакування, рис. 1.7.

Представлена схема прокатного стану найкраще підходить для умов ЦХП - 1 комбінату “Запоріжсталь”, тому надалі в даній роботі 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

Оскільки на поверхні гарячекатаної штаби утвориться шар окалини, то 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 %-ної HCl і товарного окису заліза; обробка стічних вод цеху й готування хімічних розчинів для інших відділень цеху.



1 - конвеєр подачі рулонів; 2 - візок підготовки й подачі рулонів у розмотувач; 3 - розмотувач; 4 - окалиноломач; 5 - правильна машина; 6 - ножиці з нижнім різом; 7 - стикозварювальна машина; 8 - гратознімач; 9 - зшивна машина; 10 - тягнучі ролики; 11 - петлева яма № 1; 12 - правильні ролики неприводні; 13 - тягнучі 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 полос; 20 - петліва яма № 2; 21 - тягнучі ролики; 22 - дискові ножиці з кромкокрошителем; 23 - пристрій, що промаслює, і моталка роликового типу.

Рисунок 1.7 - Схема розташування обладнання НТА

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 висока якість зварювання й зачищення ґрата дозволяє прокочувати рулони без зниження швидкості [10].

1.2.2 Прокатка на реверсивному двоклітьовому стані 1700

Підкатом для двоклітьового реверсивного стана 1700 холодної прокатки виробництва “SMS” (Німеччина) є гарячекатана травлена полоса, змотана в рулони. До складу обладнання стану входять: дві реверсивні кліті, один розмотувач, дві реверсивні моталки, трироликова правильно - тягнуча машина.

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 розмотувача 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.

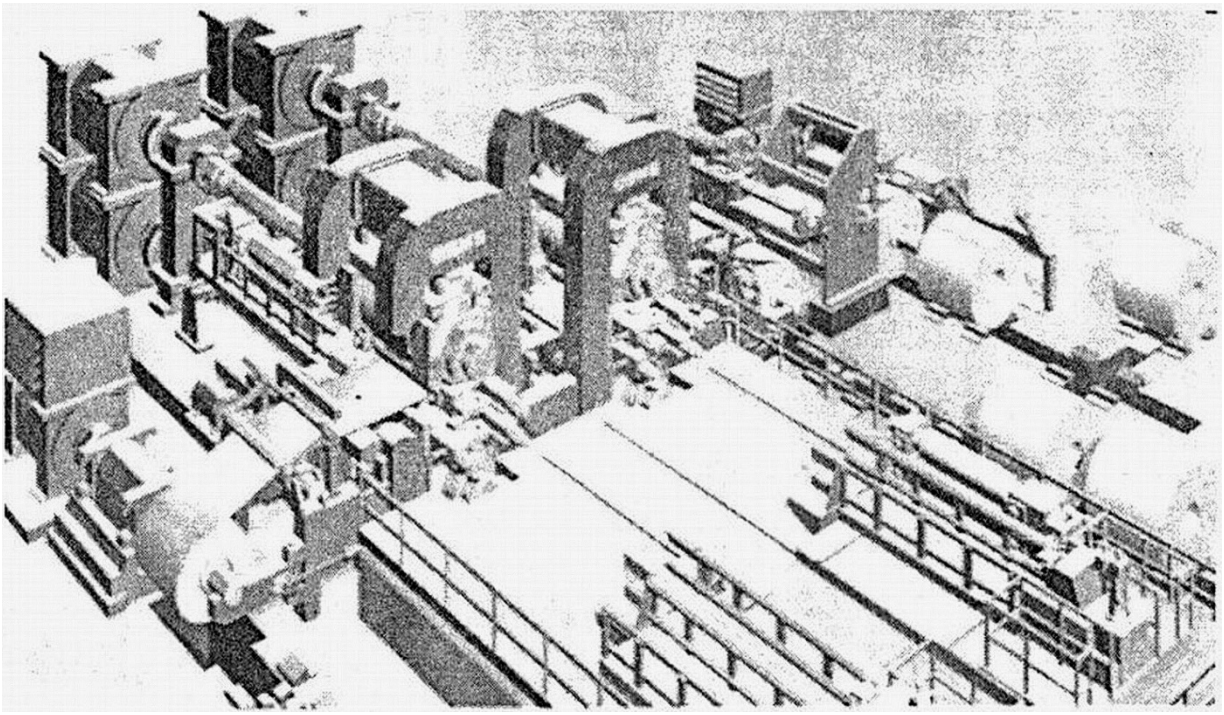


Рисунок 1.9 - Загальний вид реверсивного двоклітьового стану 1700

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, полос і стрічки. Бочка цих валків циліндричної форми, тому іноді ці валки називають гладкими.

Сортові валки служать для прокатки різного сортового профілю (круглого, квадратного, куткового, рейок та ін.) і заготовок. На поверхні бочки цих валків є поглиблення, що відповідають профілю металу, що прокатується. Ці поглиблення називають струмками (струмка двох валків утворять 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, цільноковані 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 твердосплавні 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.

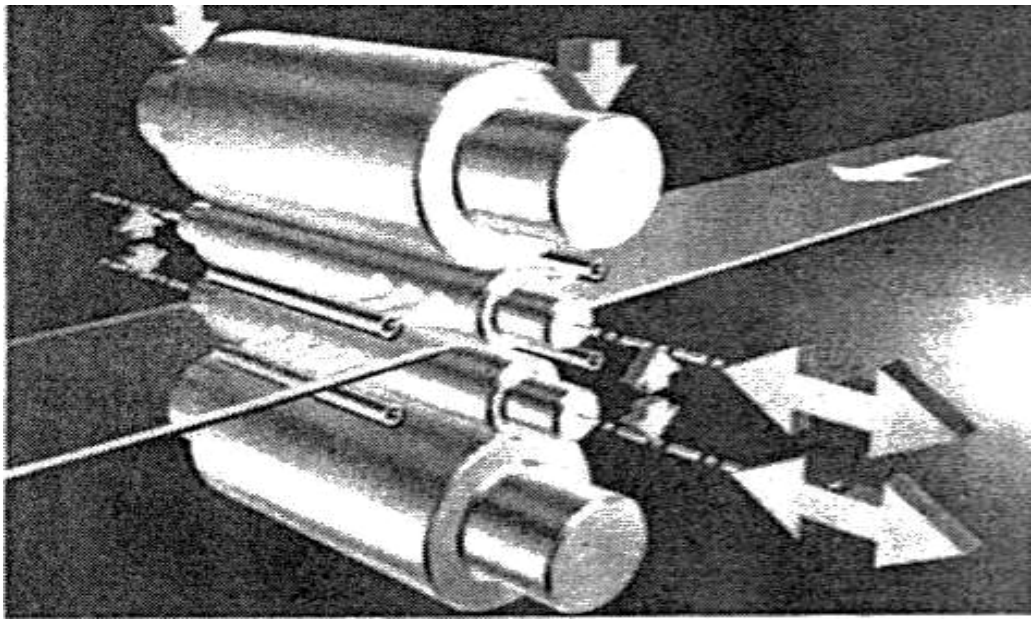


Рисунок 1.11 - Робота валкової системи 2-х клітьового реверсивного стану 1700 холодної прокатки

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 - ої 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). 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).

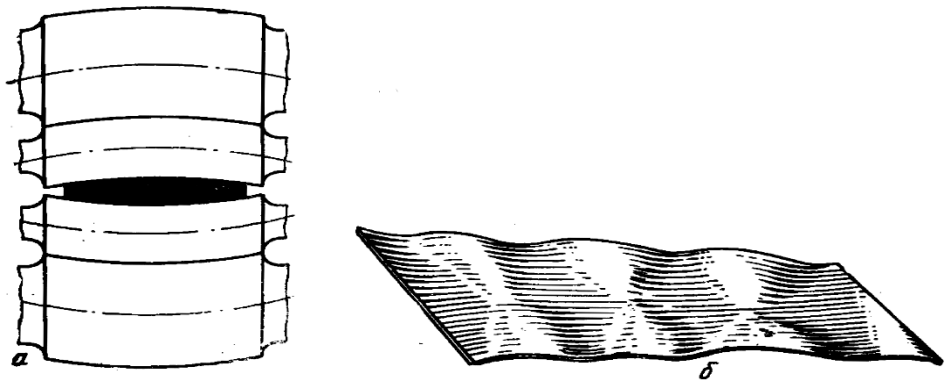


Рисунок 1.12 - Вплив циліндричної бочки валка на якість викочування й поверхні штаби

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 валкам 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 валки приймають паралельне положення й холоднокатана штаба виходить прямокутного перетину (рис. 1.13).

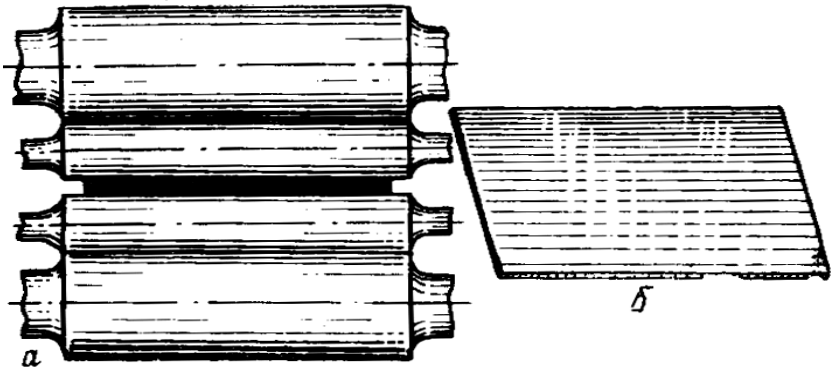


Рисунок 1.13 - Вплив опуклої бочки валка на якість викочування й поверхні штаби

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).

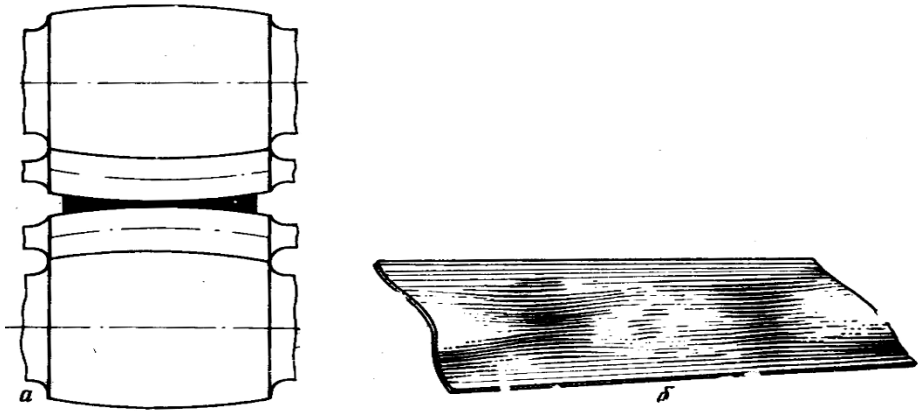


Рисунок 1.14 - Вплив надмірної опуклості бочки валка на якість і поверхню штаби

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

Таблиця 1.1 - Технічна характеристика валків 2-х клітьового стану

Параметр	Робітники 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 3415Е, 3417В). 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 шар, 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 захвату штаби й запобігання пробуксовки валків по смузі в процесі прокатки, а також перешкоджає

зварюванню витків рулону в процесі рекристалізаційного відпал а в одностопних ковпакових печах [12].

1.2.4 Мастильно-охолодні рідини для холодної прокатки штаб

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 полос.

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 мастил і емульгатори.

Для охолодження валків застосовують рідини, здатні добре поглинати тепло. Кращими технологічними мастилами є рослинні й тваринні жири (пальмове, касторове, бавовняне та 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 полос з мало- і середньовуглецевих 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 оцинковані, а при відпал е з'являється сажистий наліт. Особливу увагу необхідно приділяти чистоті мастил або емульсії в процесі прокатки, тому що залишки забрудненого мастила викликають утворення сажистого нальоту на поверхні штаби при відпал е. Крім того, залишки брудної емульсії можуть викликати корозію поверхні холоднокатаної штаби до відпал а [15].

Сортамент і режими обтиснень реверсивного стану 1700 основних профілерозмірів, що прокатують на насічених валках з емульсією на основі мінерального масла наведені в табл. 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^{0}С.

Відпал складається із трьох стадій: нагрівання, витримки й охолодження металу. Так як після відпал а полоса не піддається вторинному травленню, а направляється для виготовлення готової продукції, то утворення окалини на поверхні штаби при відпал є неприпустимо. Тому відпал проводять у захисній атмосфері. Тривалість і температурний режим відпал а обумовлені товщиною й хімічним складом матеріалу штаби. Після відпал а при t = 670 – 710°С границя текучості стали марок 08кп (08пс) знижується з $\sigma_т$ = 700 - 750Н / мм^2 до $\sigma_т$ = 220 - 240 Н/мм^2, а відносне подовження збільшується з δ = 1,5% до δ = 35 - 40%.

Режим термічної обробки повинен забезпечувати задані властивості сталі, охороняти поверхню металу від окислювання й обезвуглероження поверхні. Рекристалізаційний відпал є однієї з основних технологічних операцій, що визначають якість готового холоднокатаного листа.

Конструкційний лист і автолист відпалюют у ковпакових печах, жерсть у ковпакових і баштових печах. Газові ковпакові печі характеризуються невисокими вартостями й енергетичними витратами при досить великій продуктивності й зручному обслуговуванні. Відповідно до розмірів рулонів , що відпалюються, 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^{0}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 Дресирування металу

Дресируванням називається холодна прокатка (без мастила і 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) поверхневе 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 сучасної 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. Штаба, що надходить, обтиснута практично до

остаточної товщини й при цьому дуже м'яка. Необхідно ретельно стежити за тим, щоб на полосі не з'являлися складки, хвилястості та інші пошкодження. При дресируванні полоса повинна мати достатній натяг, що перевищує межу пружності, але воно повинне бути значно нижче межі міцності [5].

Для дресирування рулонної штаби застосовують чотиривалкові стани:

1) одноклітьові нереверсивні для дресирування в один прохід полос товщиною 0,5 - 1,5 мм із вуглецевої 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.

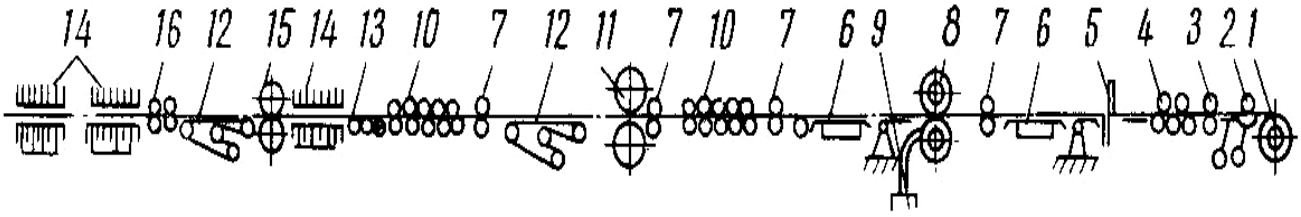
Дресирувальні чотиривалкові стани по своїй конструкції в основному аналогічні реверсивним і безперервним станам холодної прокатки. Дресирування листів з маловуглецевої сталі на комбінаті «Запоріжсталь» виконують на одноклітьових станах кварто. До складу обладнання дресирувального стану входять: стрічковий 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.

Дресирування здійснюють за один прохід при швидкості 10-20 м/с з метою підвищення пластичних властивостей металу. Після дресирування з 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/мм^2 до 245 Н/мм^2 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.

Дресирування 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 і поліпшуючи умови штампуємості. Крім того, наявність шорсткості на листі забезпечує краще схоплювання покриття з поверхнею виробу [6].

Готові рулони після дресирування передають на агрегати поперечного й подовжнього різання (АПР). Різання штаб провадиться строго відповідно до плавок і партій. Різання холоднокатаної штаби на листи або подовжній розпуск штаб - остання операція технологічного процесу виробництва холоднокатаних листів. Штаби ріжуть на листи після дресирування на спеціальних агрегатах поперечного різання (АПР). Схема агрегату поперечного різання (рис. 1.14).

До складу АПР-1 входить наступне основне обладнання: завантажувальний пристрій, розмотувач рулонів (барабанного типу), 5-ти роликова правильна машина, листові ножиці з нижнім різом, 13-ти роликова 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’ятироликова 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 - клеймовочна машина; 16 - машина, що промаслює.

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

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

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

Потім здійснюється сортування й упакування готової продукції. При сортуванні холоднокатаної сталі виявляють поверхневі дефекти. Поверхня холоднокатаних полос 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 холодному прокатуванні штаб

Розрахунок режиму деформації й енергосилових параметрів при прокатці штаби з розмірами 0,7 х 1030 мм на реверсивному двоклітьовому стані 1700.

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

Вихідні дані до розрахунку:

кінцева товщина штаби h = 0,7 мм, ширина B = 1030 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 од., із шорсткістю R_a = 1,5 мкм, шорсткість поверхні штаби R_{an} = 0,75 мкм, емульсія мінерального масла, марка стали 08 пс містить - 0,08% C; 0,01% Si; 0,4% Mn; 0,02% Cr; 0,06% Ni.

Для двоклітьового реверсивного стану 1700 приймаємо наступний розподіл обтиснень за проходами:

Таблиця 2.1 - Розподіл відносних обтиснень за проходами

№ кліті	1	2	3	4
ε, %	35	30	20	15

Визначимо можливе сумарне відносне обтиснення :

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

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

$$\varepsilon_{\Sigma 4} = 0{,}51 + 0{,}148\,(2 - 0{,}6)^{1{,}3} = 0{,}75$$

Вихідна товщина штаби буде дорівнювати:

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

$$H = 0{,}7 / (1 - 0{,}75) = 2{,}8 \text{ мм}.$$

Товщина гарячекатаного підкату дорівнює 2,8 мм.

2.1.1 Визначення геометричних параметрів осередку деформації

Сумарне обтиснення штаби в чотирьох проходах дорівнює:

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

$$\Delta h_{\Sigma 4} = 2,8 - 0,7 = 2,1 \text{ мм},$$

а обтиснення по клітях дорівнює:

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

$\Delta h_1 = 0,35 \cdot 2,1 = 0,74$ мм,

$\Delta h_2 = 0,30 \cdot 2,1 = 0,63$ мм,

$\Delta h_3 = 0,20 \cdot 2,1 = 0,42$ мм,

$\Delta h_4 = 0,15 \cdot 2,1 = 0,31$ мм.

Виконаємо перевірку:

$\Delta h_{\Sigma 4} = 0,74 + 0,63 + 0,42 + 0,31 = 2,1$ мм.

Визначимо товщину штаби після кожного проходу по наступній формулі:

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

де h_0 – початкова товщина штаби до проходу; підставляючи раніше розраховані параметри у формулу (2.5) одержимо:

$h_1 = 2,8 - 0,74 = 2,06$ мм,

$h_2 = 2,06 - 0,63 = 1,43$ мм,

$h_3 = 1,43 - 0,42 = 1,01$ мм,

$h_4 = 1,01 - 0,31 = 0,7$ мм.

Визначаємо відносне обтиснення по проходах по формулі:

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

$\varepsilon_1 = 0,74/2,8 = 0,264$,

$\varepsilon_2 = 0,63/2,06 = 0,313$,

$\varepsilon_3 = 0,42/1,43 = 0,294$

$\varepsilon_4 = 0,31/1,01 = 0,307$.

Перший прохід

Визначимо параметри прокатки у 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

$$V_1 \cdot h_1 = V_2 \cdot h_2, \quad (2.7)$$

знаходимо: $V_1 = h_2 \cdot V_2 / h_1 = 1,43 \cdot 14,0/2,06 = 9,72$ м/с.

2.1.2 Визначення коефіцієнта тертя

Коефіцієнт тертя дорівнює за формулою [10, 11]:

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

де f_0 – базовий коефіцієнт тертя; k_d, k_n, $k_{см}$ – 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:

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

Коефіцієнт $k_п$ дорівнює

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

Коефіцієнт k_v при $V > 8,0$ м/с з формули (2.10) дорівнює:

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

Коефіцієнт k_t визначаємо по формулі:

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

де $t_н$ – температура металу перед осередком деформації; a, c, n – коефіцієнти, що дорівнюють:

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

Для наведених вихідних даних по формулах (2.8 – 2.14), (для емульсії 5% мінерального масла - $k_{см} = 1,0$; $R_{ап} = 0,75$ мкм) одержимо:

$$k_v = 0,56 + 0,7 \cdot (1 - 0,025 \cdot 9,72)^2 = 0,96,$$

$$f_0 = 0,96 \cdot [0,062 + 0,005(1,5 - 0,6)] = 0,064,$$

$$k_d = 0,5 + 1,77 \cdot 0,264 + 0,165 \cdot 1,50(1\text{-}3,33 \cdot 0,264) \approx 1,00,$$

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

$a = 0,31 + 1,7 \cdot 0,283 = 0,79$

$c = 1,20 - 2,8 \cdot 0,283 = 0,41$

$n = 3,84 - 5,7 \cdot 0,283 = 2,23$

$k_t = 0,79 + 0,41 \cdot (1,11 - 0,0044 \cdot 25)^{2,23} = 1,2,$

$f = 0,064 \cdot 1,00 \cdot 1,05 \cdot 1,0 \cdot 1,2 = 0,082;$

Знаходимо показник тертя з виразу:

$f_п = 1,6 \cdot f - 0,018,$

$f_п = 1,6 \cdot 0,081 - 0,018 = 0,113.$

2.1.3 Розрахунок границі текучості металу

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

Вуглецевий еквівалент для вуглецевої сталі дорівнює [2]:

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

Базова (вихідна після відпалу) границя текучості і приріст границі текучості відповідно рівні:

$$\begin{cases} \sigma_{т0} = 210 + 263\ C_э\ ; \\ \Delta\sigma_т = 209 + 460\ C_э\ . \end{cases} \qquad (2.16)$$

Коефіцієнт, що враховує обтиснення дорівнює:

$$\begin{cases} \text{для } \varepsilon_\Sigma = 0 - 0,4 \\ \qquad k_\varepsilon = 1-(1-\frac{\varepsilon\Sigma}{0,4})^{1,5 + C} \\ \text{для } \varepsilon_\Sigma = 0,41 - 0,7 \\ \qquad k_\varepsilon = 1 + 0,87(\varepsilon_\Sigma - 0,4)^{0,5} \end{cases} \qquad (2.17)$$

Границю текучості металу після кліті визначаємо по виразу:

$$\sigma_{тl} = \sigma_{т0} + \Delta\sigma_т \cdot k_\varepsilon. \qquad (2.18)$$

Розраховуємо границю текучості:

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

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

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

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

Тоді, підставивши отримані значення, одержимо:

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

Границя текучості металу після деформації з урахуванням впливу температури й швидкості деформації [10] дорівнює:

$$\sigma'_{тl} = n_u \cdot n_t \cdot \sigma_{то} + \Delta\sigma_т \cdot k_\varepsilon; \qquad (2.19)$$

границю текучості металу на міжклітьовому проміжку визначимо по формулі:

$$\sigma_{т(i\text{-}l)} = n_t \cdot \sigma_{то} + \Delta\sigma_т \cdot k_{\varepsilon(i\text{-}1)}; \qquad (2.20)$$

Середній опір металу в осередку деформації дорівнює:

$$\sigma_ф = 1{,}15[\sigma_{т(i\text{-}l)} + 0{,}67(\sigma'_{тl} - \sigma_{т(i\text{-}l)})]; \qquad (2.21)$$

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

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

Швидкість деформації визначаємо по виразу:

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

де l_c – довжина дуги контакту.

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

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:

$$l_c = 1{,}4\sqrt{225 \cdot 0{,}74} = 18{,}06 \text{ мм.}$$

$$U = 9720 \cdot 0{,}264 / 18{,}06 = 142 c^{-1},$$

$$\ln U = 5{,}09$$

$$n_u = 1 + 0{,}38\ (0{,}5 + \frac{4{,}96}{13{,}8})^2 = 1{,}28$$

$$n_t = 0{,}8 + 0{,}23\ (1 - \frac{25}{300})^2 = 0{,}993.$$

$\sigma'_{тl} = 1{,}28 \cdot 0{,}993 \cdot 250{,}2 + 279{,}4 \cdot 0{,}86 = 558$ Н/мм^2;

$\sigma_{т(i\text{-}l)} = \sigma_{то} = 250{,}2$ Н/мм^2.

$\sigma_ф = 1{,}15 \cdot [\ 250{,}2 + 0{,}67(558 - 250{,}2)] = 525$ Н/мм^2.

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

$$\sigma_{ф0} = 1{,}15 \cdot n_t \cdot \sigma_{т0}\ ; \qquad (2.24)$$

$\sigma_{ф0} = 1{,}15 \cdot 0{,}993 \cdot 250{,}2 = 286$ Н/мм^2 ,

$\sigma_{ф1} = 1{,}15 \cdot \sigma'_{тl} = 1{,}15 \cdot 558 = 645$ Н/мм^2 .

2.1.4 Визначення довжини дуги контакту

$$l'_c = \frac{c + \sqrt{c^2 + 4R\Delta h(1 - c\frac{fn}{2hcp})}}{2(1 - c\frac{fn}{2hcp})}; \qquad (2.25)$$

$$c = ncp \cdot \sigma ф \frac{R}{47500}$$

$$x2 = n1 \cdot \sigma ф1 \frac{R}{95000}\ ; \qquad (2.26)$$

$$l_c = l'_c + x_2; \qquad (2.27)$$

де $n_{ср}$ і n_l – коефіцієнти, що враховують вплив середніх напруг натягу й напруг натягу переднього кінця штаби:

$$n_{ср} = 1 - \frac{\sigma n + \sigma з}{2\sigma ф}; \qquad n_l = 1 - \frac{\sigma n}{\sigma ф1}, \qquad (2.28)$$

Напруга і натяг змінюються в широких межах. Для реверсивного стана перед кліттю 1 напруга $\sigma_з$ дорівнює 20 - 30 Н/мм^2.

На проміжних ділянках:

$\sigma_п = (0{,}1 - 0{,}2)\ \sigma'_{тl}$, а $\sigma_з = (0{,}1 - 0{,}2)\ \sigma_{т(i\text{-}1)}$.

Оскільки розрахунок виконуємо для кліті 1, то приймаємо $\sigma_з = 25$ Н/мм^2, а $\sigma_п = 0{,}15 \cdot 561 = 84{,}2$ Н/мм^2. З виразів (2.28) знайдемо:

$$n_{ср} = 1 - \frac{25 + 84{,}2}{2 \cdot 525} = 0{,}90; \qquad n_l = 1 - \frac{84{,}2}{642} = 0{,}87.$$

З вираження (2.26) знаходимо параметри с и x_2:

Складова дуги контакту з вираження дорівнює:

$$c = 0{,}90 \cdot 525 \frac{225}{47500} = 2{,}24 \text{ мм};$$

$$x_2 = 0{,}87 \cdot 642 \frac{225}{95000} = 1{,}32 \text{ мм}.$$

$$l'_c = \frac{2{,}24 + \sqrt{2{,}24^2 + 4 \cdot 225 \cdot 0{,}74(1 - 2{,}24 \frac{0{,}113}{2 \cdot 2{,}1})}}{2(1 - 2{,}24 \frac{0{,}113}{2 \cdot 2{,}1})} = 14{,}56 мм.$$

Повна довжина дуги контакту з вираження (2.27) дорівнює:

$$l_c = 14{,}56 + 1{,}32 = 15{,}88 \text{ мм}.$$

2.1.5 Енергосилові параметри прокатки

Середній тиск дорівнює:

$$p'_{ср} = \sigma_ф \cdot (1 + C_н \cdot f_п \cdot l_c / h_{ср}); \qquad (2.29)$$

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

$$C_н = 0{,}17 \cdot (1 + 14{,}7 \cdot 0{,}113) = 0{,}45,$$

і з урахуванням натягу,

$$p_{ср} = p'_{ср} \left(1 - \frac{\sigma п + \sigma з}{2 p' ср}\right); \qquad (2.30)$$

Всі необхідні параметри відомі,

$$p'_{ср} = 525(1 + 0{,}45 \cdot 0{,}113 \cdot 15{,}88/2{,}1) = 727 \text{ Н/мм}^2;$$

$$p_{ср} = 727\left(1 - \frac{25 + 84{,}2}{2 * 727}\right) = 672 \text{ Н/мм}^2.$$

Сила прокатки дорівнює:

$$P = p_{ср} \cdot l_c \cdot B, \qquad (2.31)$$

де В = 1030 мм ширина штаби.

$$P = 672 \cdot 0{,}01514 \cdot 1{,}03 = 10{,}85 \text{ МН}.$$

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

$$M = 2\psi \cdot P \cdot l_c + H \cdot B \cdot R \cdot \sigma_з \cdot 10^{-6}\left(1 - \frac{h}{H} \cdot \frac{b}{B} \cdot \frac{\sigma n}{\sigma з}\right); \quad (2.32)$$

$$\Psi = 0{,}48(l_d / l_c)^2 = 0{,}48\left(\frac{\sqrt{225 \cdot 0{,}74}}{15{,}88}\right)^2 = 0{,}390 \quad (2.33)$$

Крутний момент на двох валках

$$M = 2 \cdot 0{,}390 \cdot 10{,}49 \cdot 0{,}01588 + 2{,}8 \cdot 1030 \cdot 0{,}225 \cdot 25 \cdot 10^{-6} \cdot \left(1 - \frac{2{,}06}{2{,}8} \cdot \frac{1{,}03}{1{,}03} \cdot \frac{84{,}2}{25}\right) = 0{,}106 \text{ МН·м}.$$

Потужність прокатки на бочку валків:

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

$$N = 960 \cdot 0{,}106 \cdot 9{,}72/0{,}225 = 4396 \text{ кВт}.$$

2.2 Усунення коливання товщини по довжині штаби

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

1) коливання товщини, пов'язані безпосередньо з прокаткою (швидкість, натяг тощо);

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.

Встановлено, що при зміні швидкості прокатки змінюється товщина штаби - з підвищенням швидкості товщина штаби зменшується, і навпаки. Коливання товщини при зміні швидкості прокатки тим менше, чим м'якше й товще штаба й, навпаки, тим 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 в осередок деформації надходить більше змащення, відповідно до іншої - внаслідок підвищення температури штаби в осередку 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 висновку, що зі зміною швидкості прокатки змінюється довжина дуги захвату й геометрія осередку деформації внаслідок пружного сплющування валків.

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

Важливим фактором утворення поздовжньої різнотовщинності холоднокатаних штаб є спадкоємна різнотовщинність гарячекатаного підкату. Поздовжня різнотовщинність гарячекатаних штаб відбувається через коливання температури по довжині штаби, що прокатується, великого натягу в середній частині штаби тощо [15].

Звичайно кінці гарячекатаних штаб на 0,1 - 0,3 мм товще їхньої середньої частини, що пояснюється тим, що кінці штаби прокочуються в клітях чистової групи безперервного стана гарячої прокатки без натягу. Крім того, задній кінець штаби, що прокатується, має температуру нижче, ніж інша частина штаби на 50 - 60°С.

Для реверсивного двоклітьового стана 1700 допускається різнотовщинність по довжині штаби незалежно від товщини гарячекатаного підкату 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, виміри проводять при холостому ході стана, причому зусилля на валки при збільшенні швидкості підтримують постійним шляхом переміщення натискних гвинтів.

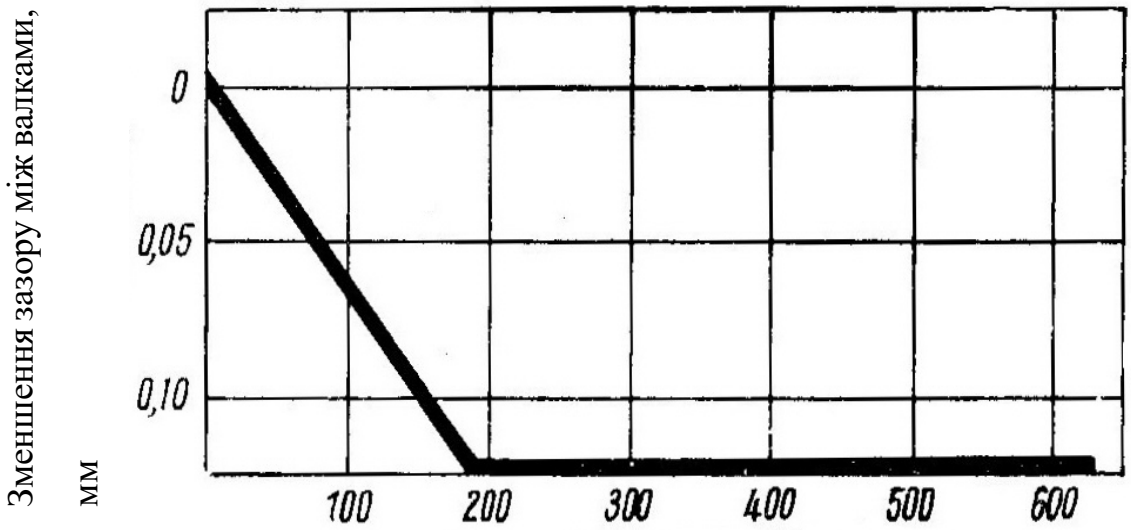


Рисунок 2.1 - Вплив “ефекту масляного клина” на зміну зазору між валками стану 1700 [6]

На малюнку 2.1 наведена крива, що характеризує зміну зазору між валками в клітях реверсивного двоклітьового стана 1700, що показує, що зі збільшенням швидкості обертання валків зазор між ними внаслідок “ефекту масляного клина” зменшується.

2.3 Автоматичне регулювання товщини штаби

Автоматичне регулювання товщини штаби в процесі прокатки можна здійснювати такими способами;

1) зміною тиску на валки;

2) зміною натягу штаби;

3) зміною тиску на подушки валків;

4) зміною швидкості прокатки.

Товщину штаби на багатьох станах регулюють зміною тиску металу на валки. Тиск на валки змінюють за допомогою натискних гвинтів, але швидкість переміщення їх невелика, а тому звичайна конструкція натискного пристрою з електроприводом не дозволяє повністю й досить швидко усувати відхилення товщини штаби від номіналу. У зв'язку із цим в останні роки на нових станах застосовують натискні пристрої з комбінованим приводом: установка валків, настроювання й перебудова зазору між ними здійснюється від електропривода, а товщина штаби в процесі прокатки регулюються спеціальним пристроєм з гідроприводом.

Основною перевагою регулювання товщини штаби зміною тиску на валки є можливість регулювання товщини в широких межах, тому цей спосіб доцільно застосовувати на перших клітях безперервних і в перших проходах реверсивних станів, коли товщина штаби і її відхилень від номінального значення найбільші.

Недолік цього способу складається в неможливості застосування його при порівняно малій товщині штаби, тобто в останніх клітях безперервних і в останніх проходах реверсивних станів.

Товщину порівняно тонких і наклепаних штаб регулюють зміною натягу штаби. На реверсивних станах натяг штаби регулюють зміною швидкостей намотування й змотування штаби на моталках, на безперервних станах - зміною швидкостей прокатки по клітях.

Як уже вказувалося, збільшення натягу приводить до зменшення товщини штаби, і навпаки, причому задній натяг впливає на товщину штаби значно сильніше переднього [4].

Перевага цього способу - висока швидкодія, а істотний недолік - дуже вузькі межі регулювання, обумовлені найбільшими і найменшими припустимими натягами штаби.

2.4 Регулювання товщини штаби на реверсивному двоклітьовому стані 1700

Для реверсивного стана холодної прокатки 1700 розглянемо наступні системи автоматичного регулювання товщини штаби.

Регулювання товщини штаби на кліті №1 стана здійснюють методом безпосереднього виміру відхилення товщини від заданої в міжклітьовій ділянці й переміщенням натискних гвинтів доти, поки не буде усунуте відхилення, тобто система заснована на прямому вимірі товщини штаби. У такій системі необхідно враховувати запізнювання, обумовлене часом транспортування сигналу. Час запізнювання зі зміною швидкості прокатки змінюється в широких межах, тому запізнювання враховується зміною коефіцієнта підсилення регулятора.

Система авторегулювання товщини штаби за першою кліттю передбачає також додаткове обтиснення штаби в районі звареного шва. Для реверсивних станів холодної прокатки, що мають швидкодіючі гідравлічні натискні механізми з вимірниками зусилля, фірма «Siemens» пропонує систему автоматичного регулювання товщини штаби (САРТ), приведену на рис. 2.2.

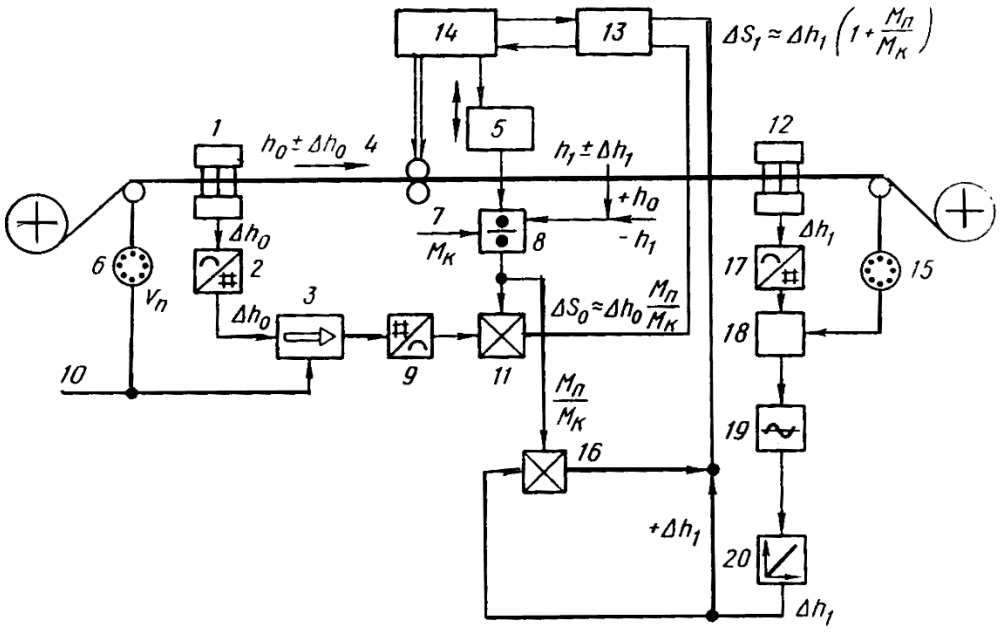


Рисунок 2.2 - Структурна схема САРТ штаби на двоклітьовому реверсивному стані холодної прокатки 1700 (кліть 1)

Система складається із двох контурів регулювання: що попереджає й по відхиленню. Датчиком у контурі регулювання, що попереджає, є вимірник товщини штаби 1, що перебуває перед кліттю при обраному напрямку прокатки 4. У блоці регульованого запізнювання 3 інформація про величину відхилення Δh_0 товщини штаби від заданої затримується на час руху штаби від вимірника товщини штаби до кліті й на час чистого запізнювання 10 натискного пристрою. Регулювання часу затримки виробляється за допомогою імпульсного датчика 6, що вимірює швидкість і довжину штаби, що обертає ролик. У блоці множення 11 обчислюється величина ΔS_0 переміщення натискного пристрою для усунення виниклого на вході відхилення $\Delta S_0 = \Delta h_0 \cdot Мп / Мк$. Для розрахунку відношення жорсткості штаби Мп к жорсткості кліті Мк на виході блока ділення 8 поступають сигнали від вимірювача зусилля прокатки 5, вимірювачей товщини штаби 1 и 12, а також від задатчика жорсткості кліті 7.

Твердість штаби, як відомо, приблизно може бути обчислена по наступній формулі: $M_п = P / (h_0 – h_1)$.

Сигнал про необхідне переміщення валків ΔS_0 надходить у систему позиційного керування 13 натискним пристроєм 14.

З появою оцінки перед зварним швом включається кнопка «шов» при обов'язково включеному грубому регуляторі товщини. Стан автоматично вповільнюється до заданої швидкості, а в районі шва роблять додаткове обтиснення ділянки штаби, що прокочують на більш низькій швидкості. Включення кнопки «шов» при відключеному регуляторі товщини штаби викличе режим без додаткового обтиснення в районі шва. При включенні натискних гвинтів першої кліті вручну регулятор товщини штаби автоматично відключається й додаткове обтиснення штаби в районі шва припиняється.

Система автоматичного грубого регулювання товщини штаби

У системі автоматичного грубого регулювання товщини штаби використаний принцип переривчастого регулювання з урахуванням часу запізнювання (рис. 2.2).

Регулювання товщини штаби здійснюється у такий спосіб.

При відхиленні товщини штаби від заданої на величину, що перевищує зону нечутливості, відбувається запам'ятовування заміряної величини в лічильнику. За допомогою цифрової системи, що стежить, здійснюється переміщення натискних гвинтів на величину, обумовлену заміряним відхиленням товщини. Дійсна величина переміщення натискних гвинтів визначається за допомогою датчика імпульсів, пов'язаного з натискним пристроєм. Відхилення товщини штаби від заданої регулятором не фіксуються в період обробки першого сигналу й переміщення за товщиноміром ділянки штаби, що перебуває в момент закінчення переміщення натискних гвинтів між валками й товщиноміром, тому що система в цей період розімкнута. Ця ділянка штаби виміряється датчиком імпульсів, що обертається синхронно з переміщенням прокатуємої штаби. Якщо при першому включенні натискних гвинтів відхилення товщини штаби від заданої не ліквідовано повністю, то відхилення, що залишилося, знову заміриться, запам'ятовується й відбувається нове переміщення натискних гвинтів.

Вплив спливання шийок опорних валків у ПЖТ ураховується введенням у регулятор швидкості сигналу, величина якого залежить від тиску металу на валки й швидкості прокатки, у результаті чого при розгоні стану натискні гвинти додатково переміщаються нагору або долілиць незалежно від впливу системи регулювання товщини.

Наведена система регулювання товщини штаби за першою кліттю дасть дуже гарні результати по згладжуванню поздовжньої різнотовщинності штаби. Остаточне тонке регулювання товщини штаби на останній кліті стана здійснюється зміною заднього натягу штаби.

Для компенсації відхилення товщини від заданої, наприклад на ±2%, необхідно, щоб за інших рівних умов секундний обсяг металу, що проходить через другу кліть, також збільшився або зменшився на 2%. Таким чином, для регулювання товщини необхідно відповідним чином змінити швидкість

прокатки в другій кліті. Це викличе зміну натягу штаби й у свою чергу приведе до зміни тиску металу на валки й зазору між ними, тобто товщини штаби.

Система тонкого регулювання товщини штаби

Система тонкого регулювання товщини штаби призначена для другої кліті стана 1700. Система має ту особливість, що в процесі регулювання товщини контролюється тиск металу на валки, при переході якого за припустимі межі переміщення натискних гвинтів другої кліті припиняється, і компенсація не виправленої частини відхилення товщини штаби від заданої передається грубому регулятору першої кліті стана. Таке обмеження переміщення натискних гвинтів другої кліті дасть можливість одержувати рівні штаби без хвилястих крайок.

Робота системи регулювання товщини за допомогою заднього натягу штаби полягає в наступному (рис. 2.3).

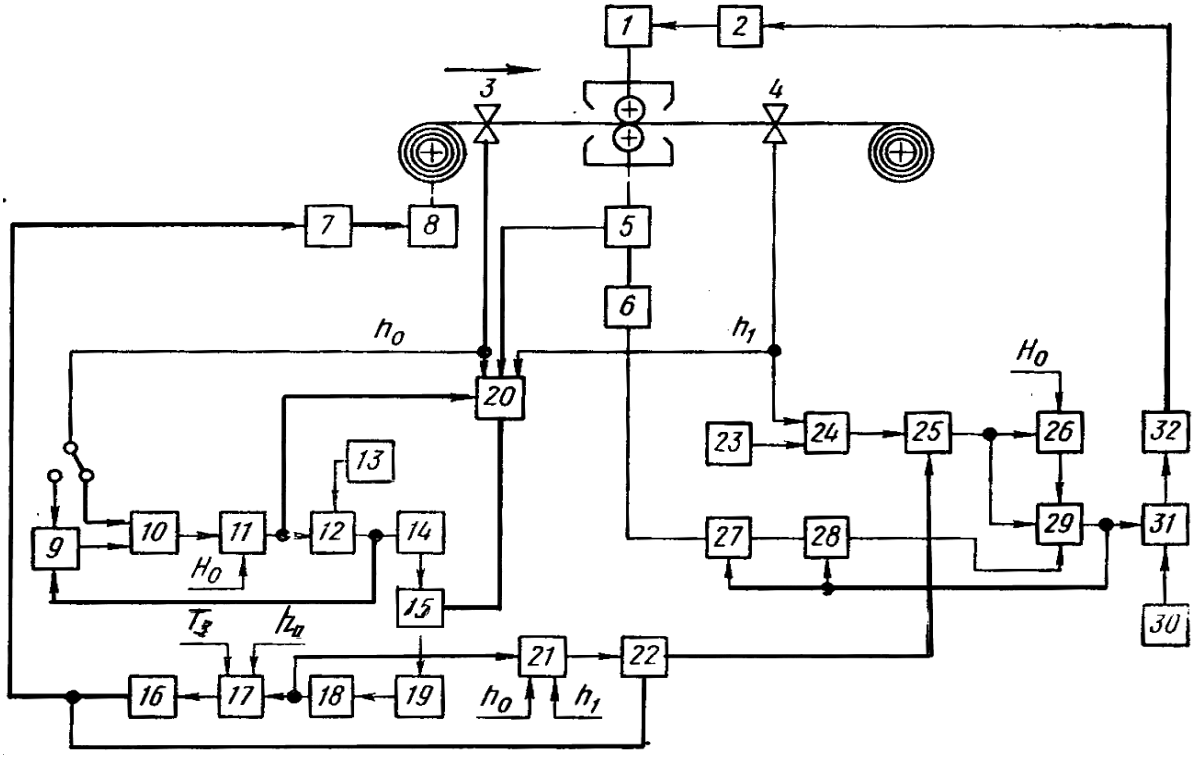


Рисунок 2.3 - Функціональна схема комбінованої САРТ

Комбінована САРТ конструкції ВНІІметмашу. У комбінованої САРТ [2] (рис.2.3) також є регулювання з попередженням і по відхиленню, але з впливом відповідно на натяг моталки, що розмотує, і на переміщення валків натискним механізмом. У системі використовуються вимірники товщини штаби на вхідній 3 і вихідній 4 сторонах стана, а також вимірники швидкості кліті. У блоці 10 рівняються задана за допомогою запам'ятовувального пристрою 9 товщина штаби з її фактичною величиною, одержуваної від вимірника 3. Якщо виникаюче відхилення товщини штаби більше обраної зони нечутливості H_0, то через блок 11 подається команда на ключовий пристрій 12, що дозволяє подачу імпульсів від генератора 13 у лічильник 14 і запам'ятовувальний пристрій 9.

Сигнал на виході блоку порівняння 10 зменшується, і при вході відхилення в зону нечутливості подача імпульсів від генератора 13 припиняється. У результаті в лічильнику 14 буде записане число імпульсів, пропорційне відхиленню товщини штаби, обмірюване датчиком 3 на вході. У момент підходу обмірюваної ділянки штаби до валків, що визначається за допомогою тахогенератора кліті 5, блоком 20 виробляється команда на відкриття ключового пристрою 15. При цьому код лічильника перезаписується з лічильника 14 у регістр 19, перетвориться в аналогову величину перетворювачем 18 і надходить на вхід множно-ділильного пристрою 17, на виході якого виробляється зміна уставки ΔT регулятора натягу з урахуванням заданого значення натягу $T3$ і товщини штаби на вході в стан h_0:

$$\Delta T = k \cdot \Delta h_0 \cdot T_3 / h_0$$

Через підсилювач 16 регулюючий вплив подається в регулятор натягу 7 моталки 8, що розмотує.

Як уже було відзначено, прокатку бажано вести при постійному натягу, тому діапазон регулювання товщини за рахунок натягу обмежують. Для цього при величині ΔT, що перевищує задані межі, відкривається ключ 22 і в контур керування натискним пристроєм із множно-ділильного пристрою 21 надходить сигнал, пропорційний $\Delta h_0 \cdot h_1 / h_0$ (где h_1 - дійсна товщина штаби на виході із стана). На вході суматора 25 цей сигнал складається з відхиленням товщини

штаби на виході із стана Δh_1, отриманим від блока порівняння 24 заданої блоком 23 h_3 та фактичною h_1 товщиною штаби, виміряною товщиноміром, порівнюється з величиною зони нечутливістю у блоці 26 та поступає у випадку її перевищення в блок формування тривалості обробки 29, який, якщо є дозвіл від блока регулюємого запізнення 28, відкриває ключ 31. У результаті цього тактові імпульси з генератора 30 поступають в схему управління 32 шаговим двигуном 2, що управляє натискним пристроєм 1.

Під час надходження імпульсів у схему керування кроковим двигуном закривається ключ 27 і скидає на нуль пристрій регульованого запізнювання 28. Відбувається усунення зареєстрованого відхилення. Число імпульсів, що надійшли в схему керування кроковим двигуном, пропорційно відхиленню товщини штаби.

Кожний з імпульсів, що надходять від датчика 6, свідчить про переміщення штаби на певну відстань Δl. Коли число імпульсів у блоці регульованого запізнювання буде свідчити про проходження обтиснутої за допомогою натискного пристрою штабою відстані від осередку деформації до вимірника товщини штаби, відбудеться повернення блоку 29 у вихідне положення. Якщо при цьому знову буде зареєстроване перевищення зони нечутливості, цикл роботи крокового двигуна повторюється.

Відхилення товщини штаби, заміряне товщиноміром, після перетворення в цифрову форму запам'ятовується спеціальним лічильником і після цього передається в другий лічильник, показання якого не скидаються протягом усього періоду прокатки.

Після перетворення показань другого лічильника виходить сигнал збільшення швидкості другої кліті, що множиться на швидкість штаби, тому що на вхід регулятора швидкості двигуна другої кліті повинне бути подане абсолютне значення збільшення швидкості. Після подачі сигналу збільшення швидкість другої кліті, зростаючи щодо швидкості першої кліті, приводить до збільшення натягу штаби між першою й другою клітями й зменшенню товщини штаби.

Наведені системи грубого й тонкого регулювання товщини штаби при спільній дії дозволяють зменшити і звести до мінімуму поздовжню різнотовщинність холоднокатаних штаб.

2.5 Додаткове обладнання для поліпшення площинності штаби

Реалізація повністю автоматизованої технології змусила оснастити стан необхідною вимірювальною апаратурою для реєстрації всіх важливих технологічних і експлуатаційних параметрів. Широке застосування комп'ютерної техніки дозволяє оптимізувати режими прокатки й роботи обладнання стана. У результаті застосування нескінченного принципу й зазначених засобів автоматизації технологічної процес прокатки є досить оптимальним і високопродуктивним. Натяг на станах створюють моталки, контроль натягу здійснюють пристроями, установленими між клітями стана.

Натяг штаби між клітями безперервного стана вимірюють за допомогою тензометра. Тензометр установлюють між клітями з таким розрахунком, щоб штаба в місці проходження по ролику була трохи вище рівня прокатки. Тензометр складається з ролика, укріпленого на рамі, плоских пружинних пристроїв (рис. 2.5). Трироликовий тензометр є більше раціональним пристроєм для виміру натягу штаби. У цьому тензометрі штаба піднімає над площиною прокатки одночасно трьома роликами, кут підйому штаби увесь час залишається постійним, і виміри виходять точними.

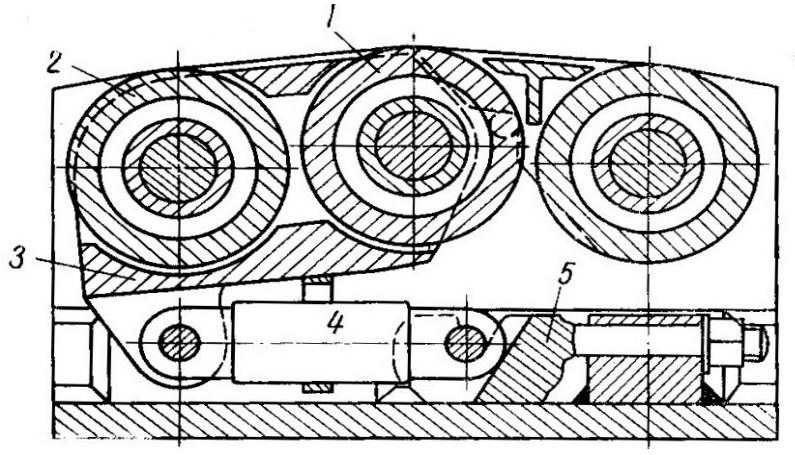


Рисунок 2.5 - Трироликовий тензометр для виміру натягу штаби

Тензометричний ролик 1 закріплений на важелі 3, що повертається навколо осі ролика 2. Інший кінець важеля пов'язаний із силовимірювальним стрижнем 4, з'єднаним з повзуном 5. Величина тиску на середній ролик і визначає зусилля натягу штаби.

Імпульси приладу, що вимірює натяг штаби, переводяться в схему автоматизації регулювання товщини штаби, що прокатується і включаються в загальну схему керування прокаткою на стані. Найбільш важливим елементом у схемі керування якістю штаби на реверсивному стані холодної прокатки 1700 є прилад для виміру планшетності штаби.

Працюючі без зазору й тертя вимірювальні датчики вимірюють планшетність штаби через сорочку ролика. При цьому тонка сорочка ролика пружинить, входячи в неглибокі фрезеровані виїмки, виконані в корпусі ролика навколо кожного щупа. Таким чином, сорочка ролика й вимірювальні датчики утворять завдяки зазначеній комбінації високочутливий, але разом з тим міцний і надійний датчик тиску. При перевищенні навантаження в результаті надмірного натягу штаби сорочка притискається до дна виїмки, що забезпечує її захист від деформації, що перевищує її межу пружності.

Товщина стінки надзвичайно твердого на вигин основного корпусу ролика становить 40 - 50 мм. З однієї сторони до ролика може бути приєднаний привод.

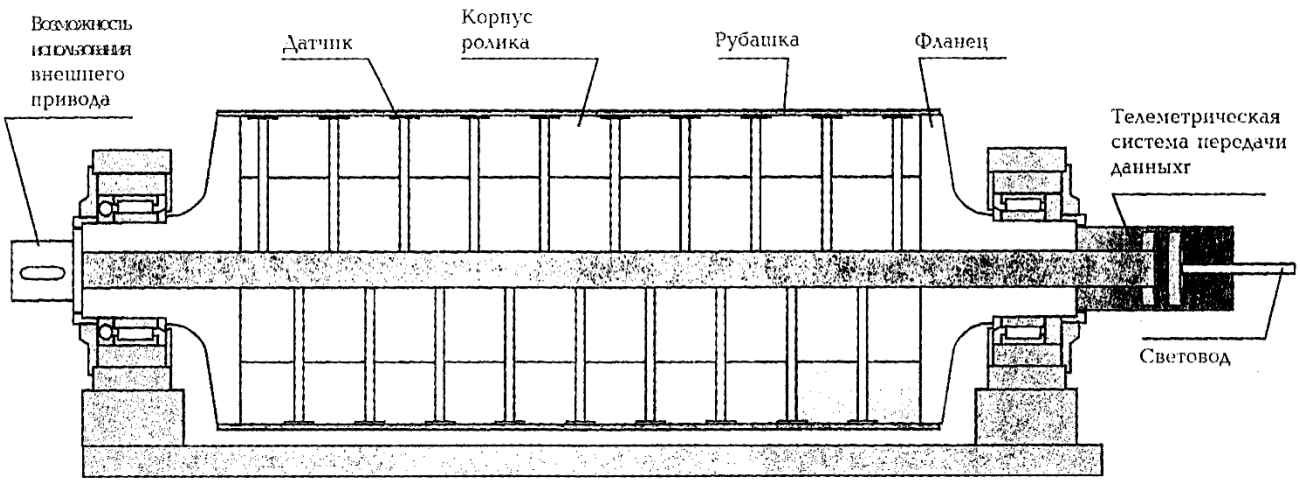


Рисунок 2.6 - Ролик виміру планшетності штаби фірми “Vollmer”

Вбудовані датчики тиску, що не залишають слідів: суцільна (без яких - бо стиків) поверхня ролика не залишає ніяких подряпин і робить ролик для виміру планшетності несприйнятливими до збоїв у роботі стана. Профілактика обмежується змащенням підшипників ролика, виробленої кожні 3 місяці.

Телеметрична передача даних (імпульсно - кодова модуляція - ІКМ) і безконтактна передача енергії забезпечують надійність, відсутність зношування й незалежність передачі даних від обертання ролика. Пропонована фірмою «Vollmer» система регулювання планшетності штаби перетворить результати вимірів у регулюючі сигнали відразу ж, як тільки обмірювані значення відхиляються від заданої характеристики [13].

Всі існуючі виконавчі органи, такі як, системи противигину валків, охолодження валків, бічного переміщення валків багатовалкового стана, регулювання нахилу валків, включені в систему регулювання з оптимальним узгодженням їхньої роботи між собою. Враховуюча багато параметрів система регулювання планшетності, пропонована фірмою «Vollmer», розрахована на роботу із прокатними клітями будь-яких прокатних станів (рис.2.7).

Алгоритм регулювання управляє роботою прокатної кліті таким чином, щоб обмірювана планшетність збігалася з попередньо заданої. Оптимально працююча система регулювання запобігає обривам стрічки, дозволяючи оптимально використовувати встановлену швидкість прокатки. У результаті завдяки системі автоматичного регулювання планшетності фірми «Vollmer».

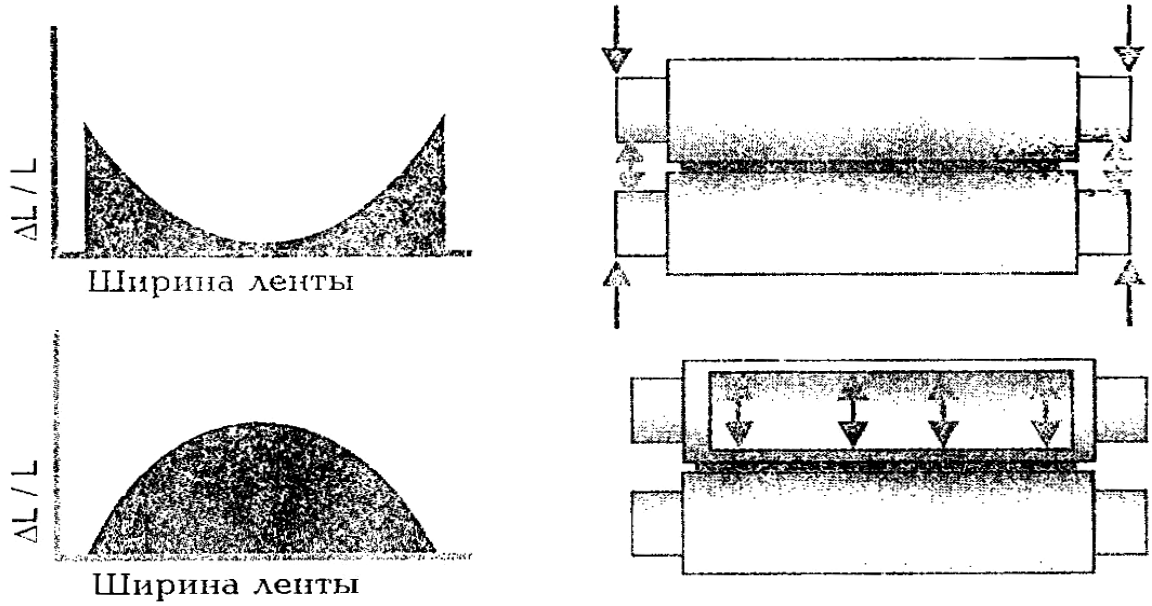
У процесі прокатки обмірювана планшетність стрічки графічно відображається на екрані монітора. Зображення автоматично розтягується, дозволяючи забезпечити наочне відображення навіть незначних відхилень у планшетності за рахунок їхнього масштабування по розмірах зображення.

Одночасно умовні позначки (символи) показують дію в прокатному стані виконавчих органів, які повинні автоматично коректувати обмірювані відхилення планшетності стрічки. У той же самий час умовні позначки показують у відсотках ступінь участі в цьому процесі кожного виконавчого органу. Зовні або за допомогою кулі керування рухом курсору клавіатури

можна або активізувати заздалегідь записані програми регулювання й задані характеристики кривих, або оператор може вручну підключати окремі режими регулювання й уводити відповідні параметри.



Однобічне порушення планшетності через нахил валків



Занадто довгі крайки або середина штаби, крива помилок функції 2-го порядку. Вигин валка на шийках або внутрішня зміна бочки валка.

Рисунок 2.7 - Схеми можливих відхилень планшетності штаби на стані

Оператор може в будь-який час перемикати зображення, використовуючи різні способи подання даних, але зберігаючи на екрані актуальні дані вимірів.

Перераховане вище обладнання повинне підвищити якість штаб, що прокочуються, і знизити втрати металу через невідповідність вимогам якості поверхні і площинності штаби.

3 МЕХАНІЧНА ЧАСТИНА

3.1 Робоча лінія прокатного стану

Обладнання, що входить до головної лінії прокатного стану, складається з робочої кліті, передавальних механізмів і головного електродвигуна. Привод валків здійснюється від електродвигуна через проміжні передавальні механізми і пристрої. Механізми й пристрої, призначені для передачі обертання валкам і сприйняття виникаючих при пластичній деформації (обтисненні) металу зусиль та крутних моментів, становлять головну лінію робочої кліті (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 (діаметром 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, трефів валка (діаметром d_1 і довжиною l_1), що мають вид хрестовини й муфту для з'єднання валка зі шпинделем через проміжну, теж трефову муфту. Валки працюють в умовах безперервного стирання їхнім металом при прокатці, випробовуючи більші напруги при динамічних навантаженнях і іноді при високій температурі, що різко змінюється. Тому до якості валків пред'являються дуже високі вимоги, оскільки вони визначають нормальну роботу стана, його продуктивність і якість готового прокату.

Для станів кварто холодної прокатки застосовують ковані валки з високою поверхневою твердістю (твердість поверхневого шару валка – до 100 од. по Шору, опорні валки - 70 - 80 од. по Шору) і високою міцністю (до 800 -

900 Н/мм^2 або 80 - 90 кГ/мм^2). Валки діаметром до 300 мм виготовляють із легованої хромистої й хромованадієвої сталі 9Х и 9ХФ, а діаметром більше 300 мм – застосовують сталі з підвищеним вмістом хрому (9Х2), хромомолібденової (9Х2МФ, 75ХМ, 65ХНМ) і хромовольфрамової (9Х2В). Валки піддають термічній обробці (загартування, відпуск) за спеціальними режимами (залежно від марки сталі й розмірів валків).

Підшипники прокатних валків

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

Це обумовлено обмеженістю габаритів підшипників і значними напругами у шийках при порівняно невеликій її довжині. Обмежені розміри шийки валка й підшипників, і великі 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 підшипники кочення.

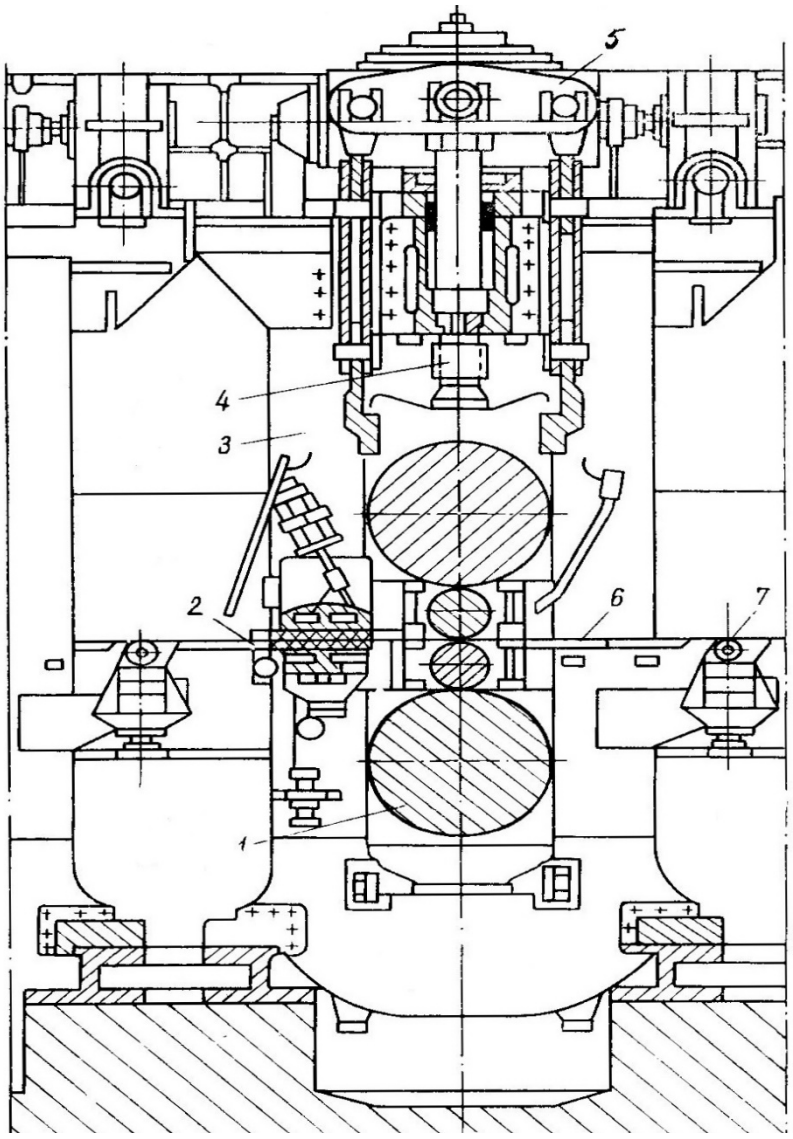
Підшипники ковзання конструктивно виконують двох видів: відкриті й закритими; підшипники кочення бувають роликові, з конічними й рідше зі сферичними діжкоподібними роликами.

Робоча кліть стана

Робоча кліть стана холодної прокатки (рис. 3.1) складається із двох масивних станин закритого типу, що відливаються звичайно зі сталі 35Л, комплекту прокатних валків, натискного пристрою й пристроїв, що врівноважують, 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 клітями сучасних безперервних станів холодної прокатки приймають рівною 4,3 - 5 м. Площа перетину стійки станини, за даними А. І. Целікова, приблизно дорівнює (1,0 - 1,2) d^2, де d^2 - діаметр шийки опорного валка.



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

Рисунок 3.1 - Робоча кліть стана кварто (поздовжній розріз)

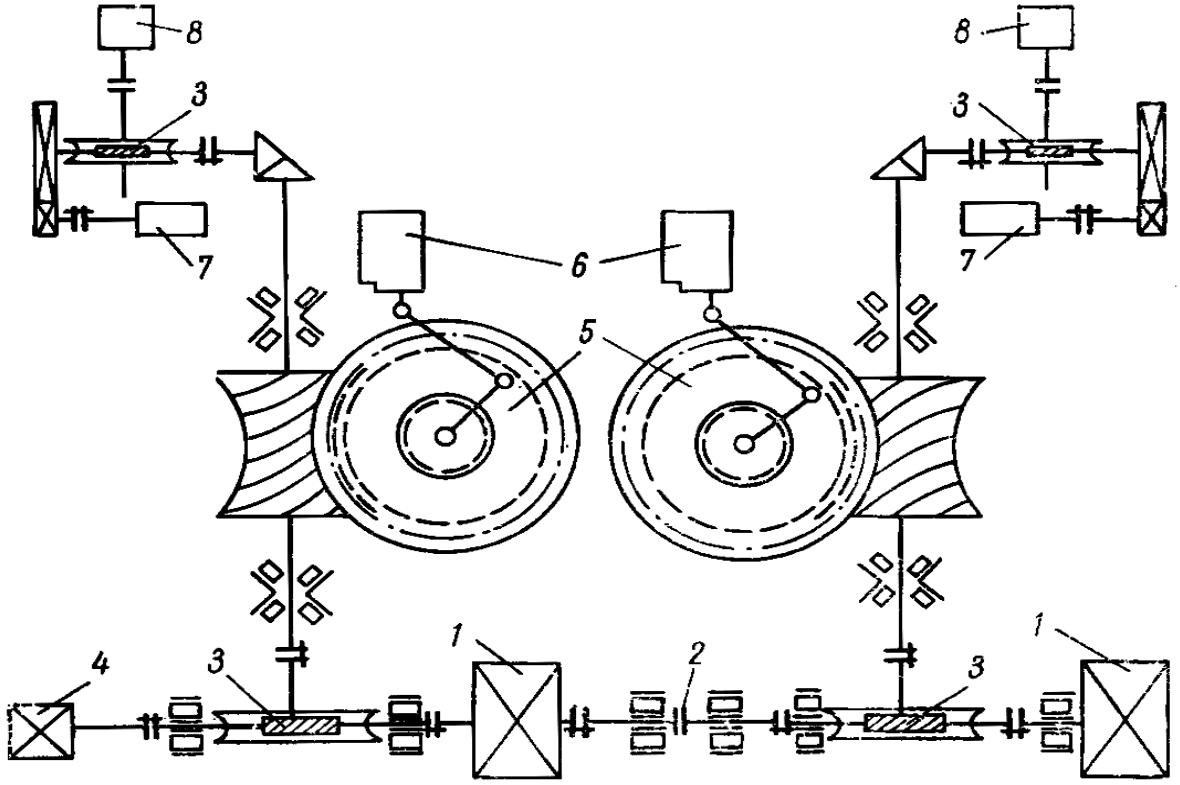
Діаметри болтів, що зв'язують станину із плитовиною, вибирають для різних станів залежно від діаметра робочих валків наступними:

D > 500 мм d ≈ 0,10 D + 10 мм,

D < 500 мм d ≈ 0,08 D + 10 мм.

Натискний пристрій

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



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

Рисунок 3.2 - Кінематична схема натискного пристрою робочої кліті безперервного двоклітьового стану 1700

Приводи обох гвинтів зчленовуються через електромагнітну муфту, що забезпечує можливість спільної або роздільної роботи гвинтів. Останнім часом перетворення змінного струму в постійний здійснюють кремнієвими випрямлячами, тому генератори не встановлюють. Система живлення й керування забезпечує мінімальний час розгону й гальмування. Точність зупинки натискних гвинтів становить ± 0,01 мм. Для контролю величини розчину валків, на кожному натискному гвинті встановлений сельсинний 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 дорівнюють, мм/хв:

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

Привід 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 натискних гвинтів нагору або долілиць, натискний пристрій має кінцеві обмежники. На рис. 3.2 наведена кінематична схема натискного пристрою робочої кліті реверсивного двоклітьового стану 1700.

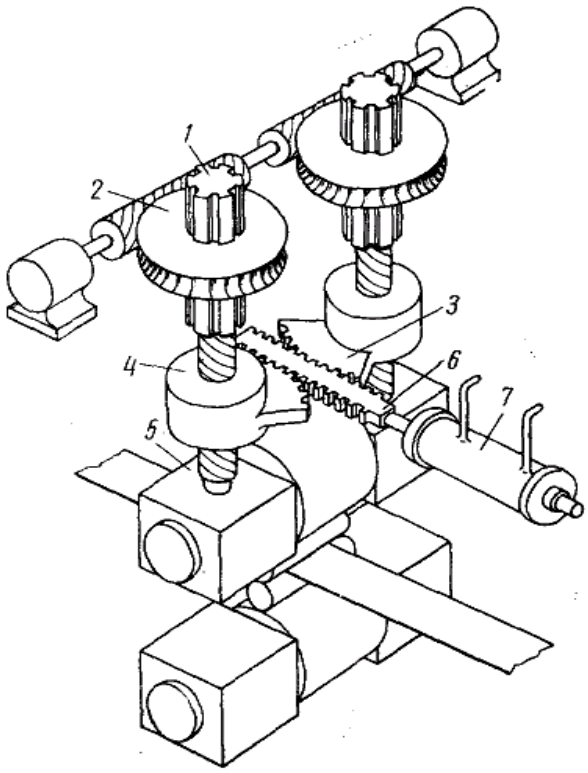
Описаний натискний пристрій надійний у роботі, однак громіздкий і має велику інерцію. Останнім часом розроблена електрогідравлічна система привода натискного пристрою (рис. 3.3).

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

На сучасних станах холодної прокатки застосовують гідравлічне врівноважування верхніх опорного й робочого валків. Є два способи

гідравлічного врівноважування валків: за допомогою двох гідравлічних циліндрів і за допомогою одного циліндра і 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. З цими тягами шарнірно з'єднані коромисла. За рахунок піднімальної сили гідравлічного циліндра тяги притискають подушки верхнього опорного валка до натискних гвинтів. Завдяки шарнірності з'єднання, вся система може 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 приводу натискного пристрою

3.2 Розрахунок валків на міцність і деформацію

Виходячи з розрахункових даних, отриманих у розрахунках енергосилових параметрів, найбільша сила прокатки 18,97 МН буде при прокатці сталі 08 пс 0,7х1030 мм в 2-м проходах, М = 0,1 МН м (рис. 3.4).

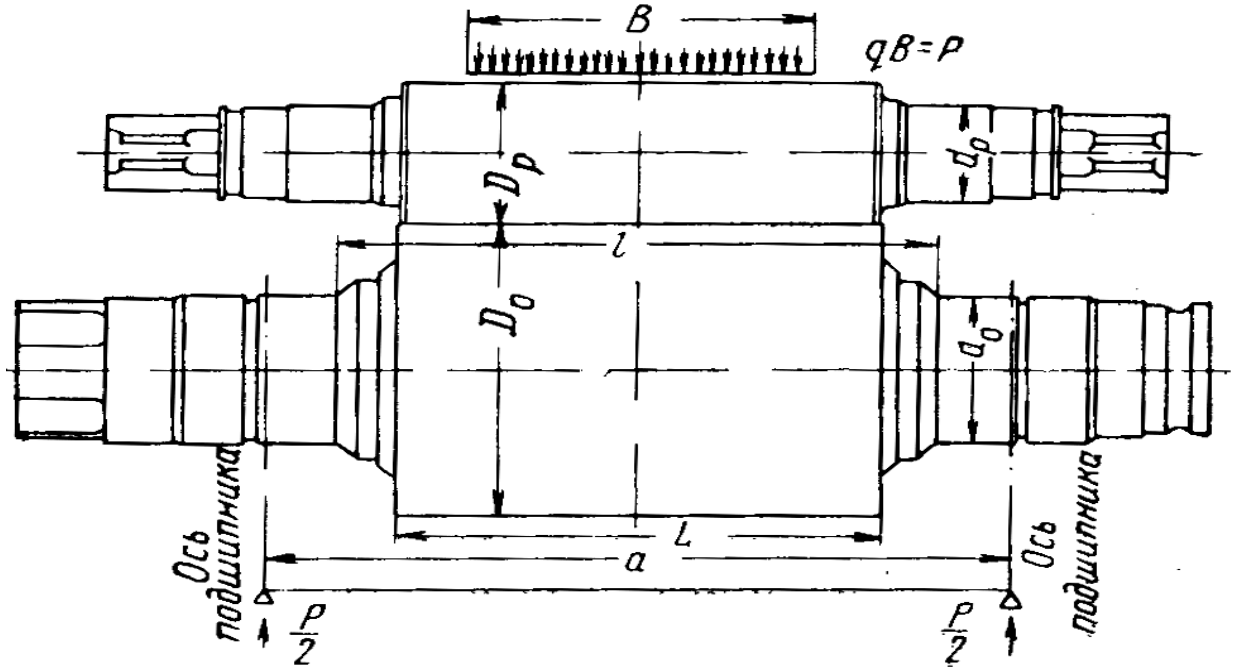


Рисунок 3.4 - До розрахунку максимально припустимого тиску на опорний валок

Знаходимо момент вигину для перетину опорного валка

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

$M_{виг} = P \cdot (a – B_{min}/2),4$. (3.2)

де а = 2200 мм.

$$M_{виг} = 18,97 \cdot 10^9(2,2 – 1,03/2)/4 = 0,8 \cdot 10^{10} \text{ Н/мм}^2.$$

Напруга в перетині бочки валка дорівнює:

$$\Sigma_{виг} = M_{виг}/0,1 \cdot D^3_{оп} = 0,8 \cdot 10^{10}/0,1 \cdot 1,150^3 \cdot 10^9 = 52,6 \text{ Н/мм}^2. \quad (3.3)$$

Напруга вигину в шийці опорного валка:

$$\sigma_ш = M_{виг.ш}/W_ш = P \cdot \ell_{оп}/0,4 \cdot d^3_{оп}, \quad (3.4)$$

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

$\sigma_ш = 18,97 \cdot 10^6 \cdot 1,2 \cdot 10^3/0,4 \cdot 0,8^3 \cdot 10^9 = 111,2$ Н/мм^2.

Напруга крутіння в шийці робочого валка:

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

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

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

Контактні напруги, що допускаються

Визначимо контактні напруги в робочому валку:

$\eta = ((1 - \ddot{\upsilon}^2_1)/E_1) + (1 - \ddot{\upsilon}^2_2)/E_2$, (3.6)

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

$\ddot{\upsilon}_1$ і $\ddot{\upsilon}_2 = 0,3$ – коефіцієнти Пуасона для робочого й опорного валків;

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

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

Тиск q(y) дорівнює:

$q = P/L = 18,97 \cdot 10^3/1,75 \cdot 10^3 = 10,84$ кН/мм. (3.7)

Визначимо половину ширини контакту штаби між робочими й опорними валками:

$b = 1,128\sqrt{(\eta \cdot P \cdot D_p \cdot D_{оп})/L2 \cdot (D_p + D_{оп})}$, (3.8)

$b = 1,128\sqrt{ 0,828 \cdot 18,97 \cdot 0,40 \cdot 1,150 \cdot 10^4/1,55 \cdot 10^3 \cdot (0,40 + 1,150)} = 9,59$ мм.

Максимальний тиск q_o:

$q_o = 2 \cdot P/3,14 \cdot L_2 \cdot b = 2,42$ кН/мм^2. (3.9)

Найбільш навантажена крапка розташована від поверхні на відстані:

$Z = 0,78 \cdot b = 0,78 \cdot 9,59 = 7,5$ мм, а головна нормальна напруга σ_1, σ_2, σ_3 і еквівалентні напруги дорівнюють:

радіальна напруга $\sigma_1 = \sigma_Z = - 0,78 \cdot q_o = - 0,78 \cdot 2,42 = - 1,89$ кН/мм^2;

осьова напруга $\sigma_2 = \sigma_в = - 0,288 \cdot q_o = - 0,288 \cdot 2,42 = - 070$ кН/мм^2;

окружна напруга $\sigma_з = \sigma_x = - 0,18 \cdot q_o = - 0,18 \cdot 2,42 = - 0,44$ кН/мм^2;

еквівалентна напруга $\sigma_{экв} = \sigma_1 - \sigma_3 = - 1,89 + 0,44 = - 1,45$ кН/мм^2.

Як видно з розрахунків, максимальний тиск q_o й еквівалентна напруга $\sigma_{экв}$ – менше допустимих.

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

Твердість HSD	max тиск, що допускається $[q_o]$, кН/мм^2	Еквівалентна напруга, що допускається, $[\sigma_{экв}]$, 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 і віссю провідного вала (рис. 3.5). З достатньою точністю вона дорівнює L = h/tg α.

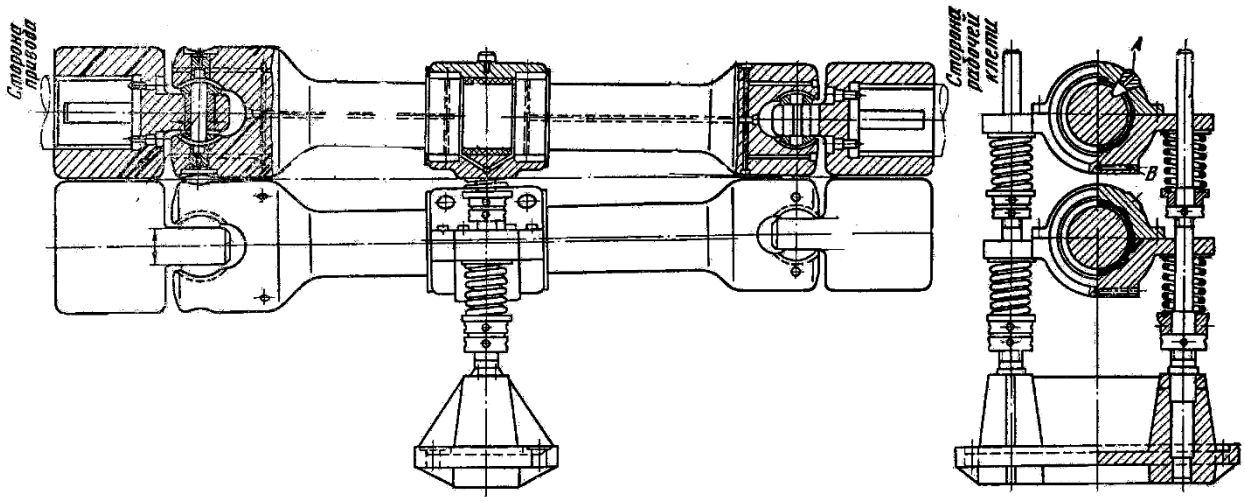


Рисунок 3.5 - Схема розташування універсальних шпинделів

Оскільки шпинделі передають великі крутні моменти, то їх шарніри повинні бути досить міцними. Розміри обмежуються з боку робочої кліті діаметром валків (коли верхній валок лежить на нижньому). Оскільки в процесі роботи стану валки зношуються і діаметр їх зменшується при

переточуваннях, то з боку робочої кліті діаметр шарніра шпинделя повинен бути трохи менше діаметра переточеного валка. Таким чином, діаметр шарніра шпинделя з боку робочої кліті завжди менше, ніж з боку приводу, тому міцність першого шарніра також буде менше міцності другого. Розраховувати на міцність треба саме шарнір, розташований з боку валків, а не з боку приводу.

Визначимо плече додатка рівнодіючої сили Р.

Площа трапеції і трикутників

$F_{тр} = (h1 + h2) / 2 \cdot (b - c) / 2;$ $F_1 = h \cdot 2 \cdot b / 4;$ $F_2 = h_1/2 \cdot c / 2.$ (3.10)

Статичні моменти

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

Розглянемо випадок роботи шпинделя, коли кут нахилу α = 0 (горизонтальне положення):

$b = 2\sqrt{R2 - r2}$ (3.12)

$b = 2\sqrt{230 - 105} = 410$ мм;

$f = 410 / 3 \cdot 1 = 137$ мм.

Момент, що скручує одну щоку головки шпинделя:

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

Зусилля Р, що діє на щоку головки шпинделя:

$P = M / f = 102,5/0,137 = 720$ кН (72 т). (3.13)

Замінюючи сегмент перетину рівновеликою трапецією, одержимо:

$b_1 = 190$ мм; $b_2 = 110$ мм; $(b_1 + b_2) = 300$ мм; $h = 125$ мм;

$(b_1 + b_2) / h = 300 / 125 = 2,4 : \eta = 0,255.$ (3.14)

Момент опору трапеції, заміняючи її прямокутником

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

Напруга крутіння в перетині

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

Напруга крутіння в тілі шпинделя діаметром d = 270 мм:

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

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

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

на один метр довжини шпинделя:

$\varphi = 0{,}63/25 = 0{,}25^{o\cdot}$ (3.19)

При геометричній побудові рівновеликої трапеції знаходимо

$b_1 = 210$ мм; $b_2 = 115$мм; $b_3 = 440$ мм; h = 155мм.

Центр ваги трапеції

$y = h/2 \cdot [(b1 + 2/3b2)/(b1 + b2)] = 155/2 \cdot [(210 + 2/3 \cdot 115) / (210 + 115)] = 69$ мм.

Момент, що згинає перетин:

$M_{из} = 748 \cdot 0{,}110 = 82{,}3$ кН · м.

Напруга вигину в перетині 1-1

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

Напруга крутіння в перетині 1-1

f = 440 / 3=147 мм;

$M_{кр} = P \cdot f = 748 \cdot 0{,}147 = 106$ кН ·м (11,2 т· м);

$\eta = 0{,}246$;

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

$\tau = 110 \cdot 10^6 / 1{,}9 \cdot 10^6 = 58$ Н/мм^2 (580 кг/см^2).

Розглянемо перетин під кутом $\beta = 30°$ до осі шарніра шпинделя і $(\beta + \alpha) = 33°$ до вертикалі; $b_1 = 200$ мм; $b_2 = 110$ мм; $b_в = 420$ мм; h = 170 мм;

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

$M_{виг} = 748 \cdot 0{,}130 = 97{,}2$ кН · м. (9,72 т· м);

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

Напруга вигину і напруга крутіння, без обліку впливу кривизни бруса

$\sigma = 97{,}2 \cdot 10^6 / (0{,}81 \cdot 10^6) = 120$ Н/мм^2 (1200 кг/см^2),

$\eta = 0{,}240$;

f = 420 / 3 = 140 мм;

$M_{кр} = Pf = 748 \cdot 0{,}140 = 106$ кН ·м (10,6 т· м);

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

$\tau = 110 \cdot 10^6 / 2{,}17 \cdot 10^6 = 51$ Н/мм^2 (510 кг/см^2).

Напруга розтягання:

$P_n = P \cos [90 - (\alpha + \beta)] = P \cos 57^o = 0{,}544P = 0{,}544 \cdot 748 = 407$ кН (40,7т);

Результуючі напруги:

$\sigma_p = P_n / F_t = 407 \cdot 10 \cdot 2 / (420 + 200) \cdot 170 = 6{,}8$ Н/мм^2(68кг/см^2).

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

$\sigma_E = 120 + 6{,}8 = 126{,}8$ Н/мм^2 (1268 кг/см^2).

Радіус нейтральної лінії кривого бруса:

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

Радіус центра ваги трапеції

$OC = r + y_c = 105 + 76 = 181$ мм.

Максимальна напруга вигину:

$\sigma_E = [97{,}2 \cdot 10^6 / (0{,}841 \cdot 10^6)] \cdot (165 - 105) / 105 = 66$ Н/мм^2 (660 кг/см^2).

Таким чином, отримана напруга майже в 2 рази менше, підрахованої вище (115 Н/мм^2) без урахування впливу кривизни брусу. Максимальна напруга в крапці Е $\sigma = 126{,}8$ Н/мм^2 (1268 кг/см^2) не перевищує допустиме напруження для сталі ЗОХГВТ, з якої виготовлений шпиндель [$\sigma_b = 800$ Н/мм^2 і $\sigma_s = 500$ н/мм^2 (80 і 50 кг/мм^2)]. Запас міцності за границею текучості становить n = 3,9.

Напруга вигину в качані лопаті з боку робочого валка:

$M_{виг} = 748 \cdot 0{,}07 = 52{,}4$кН · м (5,04 т ·м);

$W_{виг} = 157 \cdot 125/6 = 0{,}423 \cdot 10^6$ мм^3;

$\sigma = 52{,}4 \cdot 10^6 / 0{,}423 \cdot 10^6 = 123$ Н/мм^2 (1230 кг / см^2).

Перетин з формою прямокутника отримує напругу крутіння:

$b / h = (63 + 157) \quad 2 / 125 = 440 / 125 = 3{,}5$;

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

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

Лопать муфти з боку робочого валка виготовлена зі сталі 40ХН, для якої $\sigma_s = 500$ Н/мм^2 (50 кг/мм^2); запас міцності за максимальним згинальним моментом (від границі текучості) задовільний - n = 500 / 123 = 4,07.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА

4.1 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 наступний: проходить рекристалізаційний процес виділення тепла й підвищення температури в термічному відділенні, що призводить до витоку захисного і 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 фіброгенної дії;
4) несприятливий мікроклімат у відділенні;
5) важкі умови праці [14].

Шкідливі хімічні речовини в атмосфері ділянки холодної прокатки наступні: пари мастил, пари соляної 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 відноситься до третього класу з рівнем 96 дБ. У таких випадках виникає роздратування нервової системи, швидка стомлюваність і погіршення слуху. При обробці металу тиском виділяється пил фіброгенної дії. Проникаючи в легені, пил може викликати специфічні професійні захворювання. Мікроклімат у

відділенні холодної прокатки має невелике відхилення від норми по відносній вологості, швидкості руху повітря в межах норми (табл. 4.1).

Таблиця 4.1 - Оцінка шкідливих і небезпечних виробничих факторів 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/ м³						
	1 клас небезпеки						
	Ангідрид хромовий	0,01	0,062			6,2р.	95,8
	Оксид марганцю	0,05	0,39			7,8р.	95,8
	2 клас небезпеки						
	Акролеін	0,2	0,66		3,3р.		95,8
	3 клас небезпеки						
	Сірководень	10	3,87				95,8
	Ангідрид сірчистий	10	16,83	1,68р.			95,8
	Вуглець оксид	20	25	1,25р.			95,8
	Масла мінеральні	5	6,78	1,35р.			95,8
2.	Пил, переважно фіброгенної дії, мг/м³	4,0	11,57		2,89р.		95,8
3.	Вібрація, дБ						
4.	Шум, дБ	80	96			16	100
5.	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/м²	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 тяжкими умовами, що відповідає показникам списку №2.

4.2 Розробка заходів за виробничою санітарією

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, випромінюванням, шумами й ін.

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?Із прийнято вважати нормальної. 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 душирование, 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.

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.

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 протишумові навушники, які знижують вплив шуму на організм людини. Цим вони запобігають погіршенню слуху, швидку стомлюваність і роздратування нервової системи.

4.3 Заході з 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 мастил. 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.

4.4 Заходи з електробезпеки

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

Небезпека поразки електричним струмом виникає при експлуатації несправних електроустановок, порушення ізоляції на силових і контрольних кабелях, електродвигунах, кінцевих вимикачах. Однієї 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, що опинилися 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: що випадково опинилися під напругою тощо.

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 зашиті від поразки електричним струмом:

а) захист від дотику до струмоведучих частин;

б) захист від дотику до встаткування, що випадково опинилися під напругою;

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

У першому випадку застосовують огородження 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 людини, що доторкнулася до них.

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

При обслуговуванні електроустановок застосовують основні й додаткові захисні засоби. До основного відносяться 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 відносяться засоби захисту, що підсилюють дію основних засобів і які забезпечують безпеку при швидкому дотику. До засобів індивідуального захисту відносяться: 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 чотирипровідна мережа із глухо заземленою нейтраллю, тому що вона дозволяє використовувати два робітники напруги - лінійне й фазне. Від чотирипровідної мережі 380 У можна харчувати як силове навантаження - трифазну 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.

4.5 Розрахунок звукоізоляційного кожуха

Виникнення шуму робочих клітей станів викликане головним чином зіткненнями деталей трефових муфт і підшипникових вузлів в процесі обертання прокатних валків. Рівні шуму значною мірою залежать від режиму роботи стану. У початковий момент плющення, коли метал входить в зазор між валками, рівень шуму в середньому на 5-6 дБ більше, ніж при подальшому його обтисканні. Найбільші рівні шуму спостерігаються при роботі кліті на холостому ходу.

Для зменшення шуму прокатних клітей в трефових муфтах встановлюють пластмасові елементи замість сталевих. Підшипники кочення замінюють підшипниками ковзання з пластмасовими вкладишами або підшипниками рідинного тертя. Для урівноваження шпинделів застосовують гідроприжими. Вказані заходи дають можливість понизити рівень шуму клітей до нормативних значень.

При транспортуванні прокату по рольгангам необхідно перш за все усунути прослизання приводних роликів по поверхні прокату шляхом зменшення їх швидкості обертання або збільшення швидкості обертання магнітних роликів. Слід застосовувати гумовані магнітні ролики (типу 692-29-00, 635-15-00) або на звичайні ролики надівати демпфуючі кільця завтовшки 10-15 мм з поліуретану марки СКУ-7 або СКУ-ПФЛ. В цьому випадку зниження рівня звуку складає 15-20 дБ.

Для усунення зіткнень прокату з бортовими лінійками рольганга, що є додатковим джерелом шуму, доцільно поліуретанові елементи на бочці ролика розташовувати в похилих струмках під кутом 2-6° по напряму від країв ролика до центру.

Ефективна також конструкція малошумного шихтованого ролика, набраного із смужок листової сталі завтовшки 1-2 мм. Вживання таких роликів дозволяє понизити шум транспортування-прокату по рольгангам на 10 дБ.

Для захисту робітників від шуму прокатних станів доцільний пристрій екранів-будок. Спроектувати екран-будку для операторів прокатних станів, розташованих в цеху, що має розміри в плані висоту 15 м ($V = 10000$ м^3).

Поверхні цеху, що захищають, гладкі. Шум на робочому місці оператора складається з шуму одночасно працюючих розмотувача робочих клітей та моталки, розташованих відповідно на відстані 1,0; 1,5 і 2м від робочого місця оператора. Випромінювані звукові потужності L_P (табл. 4.2) однакові.

Відношення найбільшого лінійного розміру приміщення цеху до найменшого не перевищує п'яти, і починаючи з частоти f > 1000/1min, тобто при f >67 Гц, звукове поле в цеху можна вважати дифузним. Отже, розрахунок рівнів шуму на робочому місці проводитимемо по формулі з врахуванням сумарної дії шуму прокатного стану (n=3), визначуваного по формулі. Прокатний стан встановлені на підлозі цеху, і кут випромінювання $\Omega = 2\pi$

Таблиця 4.2 - Розрахунок зниження шуму, дБ, на робочому місці оператора при установці екрану-будки

Величини дБ	Значення величин в октавних смугах з серед негеометричними частотами, Гц							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
L_P	95	97	98	96	94	92	90	86
μ	0,4	0,4	0,44	0,56	0,8	1,3	2,4	4,8
B	200	200	220	280	400	650	1200	2400
$10\lg(0.27+12/B)$	-5	-5	-5	-5,1	-5,3	-5,4	-5,6	-5,7
L	90	92	93	91	89	87	84	80
$L_Д$	99	92	86	83	80	78	76	74
ΔL_T	-	-	7	8	9	9	8	6
α	0,12	0,35	0,65	0,9	0,95	0,99	1	1
ΔL	-	-	7	8	9	9	9	9

Коефіцієнти спрямованості невідомі, тому приймаємо Ф = 1 і k =1 для однорідного випромінювання. Тоді маємо

$$L = L_P + 10\lg\left(\sum_{i=1}^{n}\frac{1}{2\cdot\pi\cdot r_i^2}+\frac{4\cdot n}{B}\right) = L_P + 10\lg\left(\frac{1}{2\cdot 3.14\cdot 1^2}+\right.$$

$$\left.+\frac{1}{2\cdot 3.14\cdot 1.5^2}+\frac{1}{2\cdot 3.14\cdot 2^2}-\frac{4\cdot 3}{B}\right) = L_P + 10\lg\left(0.27+\frac{12}{B}\right)$$

Для приміщення об'ємом 10000 м^3 по формулі визначаємо величину B в октавних смугах частот (див. таблиці) і далі величини $10\lg(0.27+12/B)$ та

L . Почастинна різниця між допустимим рівнем звукового тиску і рівнем звукового тиску на робочому місці дає значення необхідного зниження шуму ΔL_T .

Екран-будка (рис. 4.1) розмірами в плані 1,0·1,0 м і заввишки 2,0 м є каркасом з кутків, обшитих сталевими листами товщиною 2 мм. Для спостереження за процесом прокатки в передній стінці будки є скло типу "триплекс" завтовшки 4 мм. Екран-будка встановлена на відстані 0,5 м від стіни цеху. Загальна площа поверхні екрану-будки з врахуванням ділянки стіни, що примикає до неї, *S* = 13 м2. Площа відкритих отворів =2,0 м2. Внутрішня поверхня екрану-будки і ділянка стіни протяжністю $l = ab / c = 1 \cdot 1 / 5 = 2$ м фанеровано мінераловатними плитами ПП-80 завтовшки 60 мм, що огорнуті склотканиною Е3-100 і захищеними перфорованим сталевим листами. Діаметр отворів приймаємо 6 мм, відстань між отворами 5,5 мм, площа перфорації складає 46 % від загальної площі. Розрахунок зниження рівня звукового тиску $L_Д$ екраном-будкою проводимо по формулі, починаючи з частоти 250 Гц:

$$\Delta L = 10 \lg(1 + \alpha \cdot 13.5 / 20) = 10 \lg(1 + 6.5 \cdot \alpha)$$

З табл. 4.2 видно, що в нормованому діапазоні частот спроектована екран-будка забезпечує необхідне зниження рівня шуму.

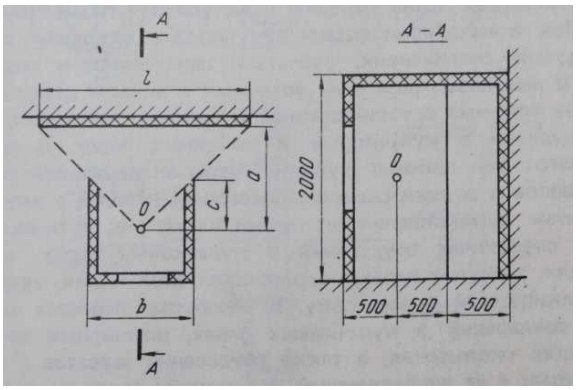


Рисунок 4.1 - Екран-будка для операторів прокатного стану

На прокатних станах повинні встановлюватися звукоізолюючі кабіни управління операторів; пічні вентилятори і вентилятори в термічних відділеннях слід укласти в герметичні кожухи, а з боку забору повітря встановлювати глушники шуму. Необхідне зниження рівня шуму буде досягнуте, якщо кожух виготовити із сталевого листа завтовшки 2 мм і його внутрішню поверхню облицьовувати скловолокнистими плитами ПП-30.

ВИСНОВКИ

1. У загальній частині роботи розглянуто технологічний процес виробництва прокату на реверсивних станах різних конструкцій. Рекомендовано новий реверсивний стан холодної прокатки, який найбільш підходить до виробничих умов ЦХП-1 ПАТ «Запоріжсталь». Завдяки автоматизації збільшується об'єм виробництва продукції і зменшується кількість браку. Виконано розрахунки енергосилових параметрів прокатки і обсягів річної виробничої програми.

2. У технологічній частині роботи на підставі проведеного огляду й аналізу технічної й патентної літератури встановлено, що найбільш ефективним способом виготовлення тонких штаб з вуглецевих марок сталей є холодна прокатка на автоматизованих станах із системами контролю і регулювання основних параметрів прокатки, що дозволить покращити якість і зменшити собівартість продукції, що випускається.

3. У механічній частині роботи надано характеристику обладнання головної лінії прокатного стану. Виконано розрахунок на міцність валків і станини найбільш навантаженої кліті. Розрахунки показали достатню міцність і надійність механізмів і вузлів прокатної кліті.

4. Для забезпечення безпечних умов праці й охорони навколишнього середовища наведено аналіз шкідливих і небезпечних факторів при холодному прокатуванні штаб і розроблено заходи щодо покращення умов праці вальцювальника, які відповідають вимогам нормативно - технічної документації з охорони праці і навколишнього середовища.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Wei-Wen Yu. Cold-Formed Steel Design- Third Edition- John Wiley end Sons, Inc. 2000. Canada.
2. George T. Halmos. Roll Forming Handbook. Taylor & Francis Group. 2006. Canada.
3. Ніколаєв В. О. Теорія і технологія точної прокатки штаб : навчальний посібник для студентів ЗДІА металургійних спеціальностей денної та заочної форм навчання. Запоріжжя : ЗДІА, 2017. 100 с.
4. Ніколаєв В. О. Калібрування прокатних валків : навчальний посібник. Запоріжжя : ЗДІА, 2015. 158 с.
5. Чубенко В. А., Хіноцька А. А. Технологія прокатного виробництва : навчальний посібник. Кривий Ріг : Видавничій центр КНУ, 2017. 169 с.
6. Василев Я.Д., Мінасв О.А. Теорія поздовжньої прокатки : підручник. Донецьк : УНІТЕХ, 2009. 488 с.
7. Проценко В. М. Технологія виготовлення гнутих профілів : методичні вказівки до практичних занять для здобувачів ступеня вищої освіти магістра спеціальності 136 "Металургія" освітньо-професійної програми "Обробка металів тиском". Запоріжжя : ЗНУ, 2021. 45 с.
8. Yavtushenko A. V., Protsenko V. M., Belokon Yu. A., Bondarenko Y. V. Productivity Optimization of Cold Rolling Mills. Steel in Translation, 2020, Vol. 50, No. 5, pp. 335–339.
9. Проценко В. М. Обтискне та сортове виробництво : методичні вказівки до лабораторних робіт для здобувачів ступеня вищої освіти бакалавра спеціальності 136 "Металургія" освітньо-професійної програми "Металургія". Запоріжжя : ЗНУ, 2020. 51 с.
10. Ніколаєв В. О. Теорія обробки металів тиском : навчальний посібник. Запоріжжя : ЗДІА, 2015. 112 с.

11. Ніколаєв В. О. Теорія прокатки штаб : навчальний посібник. Запоріжжя : ЗДІА, 2014. 259 с.
12. Yavtushenko A. V., Protsenko V. M., Bondarenko Y. V., Kirichenko A. G., Ping F. Y. Numerical experiment for the calculation of normal contact stress in the deformation canter when rolling a metal strip. Journal of Engineering Sciences, Volume 6, Issue 2 (2019), pp. E 31–E 35.
13. Проценко В. М. Прокатка листів та штаб : методичні вказівки до виконання практичних занять, контрольних робіт і самостійної роботи для здобувачів ЗДІА, що навчаються за спеціальністю 136 «Металургія» (спеціалізація «Обробка металів тиском») всіх форм навчання. Запоріжжя : ЗДІА, 2017. 67 с.
14. Ніколаєв В. О. Теорія та обладнання точної прокатки штаб: методичні рекомендації до виконання практичних завдань, контрольних і самостійних робіт для здобувачів ЗДІА напряму 8.0504104 ”Обробка металів тиском”. Запоріжжя : ЗДІА, 2016. 52 с.