

621.771  
С 325

Міністерство освіти і науки, молоді та  
спорту України  
Запорізька державна інженерна академія

---



Б.П. Серeda  
М.Г. Прицип  
Ю.О. Белоконь

## ПРОКАТКА ЛИСТІВ ТА ШТАБ

Методичні вказівки  
до курсових робіт

для студентів ЗДІА  
спеціальності 6.090404 "Обробка металів тиском"  
денної та заочної форм навчання

Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України  
Запорізька державна інженерна академія

## ПРОКАТКА ЛИСТІВ ТА ШТАБ

Методичні вказівки  
до курсових робіт

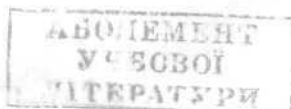
для студентів ЗДА  
спеціальності 6.090404 "Обробка металів тиском"  
денної та заочної форм навчання

Рекомендовано до видання  
на засіданні кафедри ОМТ,  
протокол № 1 від 31.08.2010р.

Запоріжжя

ЗДА

2011



*Б.П. Серета, д.т.н., професор*  
*М.Г. Прищип, к.т.н., доцент*  
*Ю.О. Белоконь, к.т.н., доцент*

*Відповідальний за випуск: зав. кафедри ОМТ,  
професор Б.П. Серета*

*Рецензенти: Таратута К.В., к.т.н., доц. Запорізької державної  
інженерної академії*

С 325 *Серета Б.П.*  
Прокатка листів та штаб: методичні вказівки до курсового проектування для студентів ЗДІА спеціальності 6.090404 "Обробка металів тиском" / Б.П. Серета, М.Г. Прищип, Ю.О. Белоконь – Запоріжжя, ЗДІА, 2011. – 50 с.

Методичні вказівки призначені для бакалаврів спеціальності «Обробка металів тиском», які включають план та методику проведення курсового проектування, згідно з курсу дисципліни «Прокатка листів та штаб». Мета методичних вказівок – навчити студентів розробляти раціональні режими деформації і розраховувати енергосилові параметри при виробництві штаб.

Запорізька державна  
інженерна академія  
**БІБЛІОТЕКА**

7/у

## ЗМІСТ

ВСТУП .....	4
1 ЗМІСТ, ОФОРМЛЕННЯ Й ПОДАННЯ РОБОТИ .....	5
1.1 Зміст роботи по розділах .....	5
1.2 Формат сторінок і абзаців .....	5
1.3 Термінологія й розмірність фізичних одиниць .....	5
1.4 Математичні формули .....	5
1.5 Оформлення таблиць .....	6
1.6 Формати документів стандартних програм обробки даних .....	6
1.7 Оформлення рисунків .....	7
1.8 Оформлення бібліографічного списку .....	8
1.9 Компонування, палітурні роботи, зберігання курсової роботи .....	8
2 ВИКОНАННЯ РОБОТИ Й ВИМОГИ ДО ЇЇ СКЛАДОВИХ ЧАСТИН .....	9
2.1 Вступ .....	9
2.2 Вибір прокатного стану .....	9
2.3 Попередня компоновка і технічні характеристики обладнання технологічної лінії стану .....	12
2.4 Опис технологічного процесу .....	12
2.5 Розрахункова частина .....	13
2.5.1. <i>Розрахунок параметрів деформації</i> .....	13
2.5.2. <i>Прокатка слябів</i> .....	13
2.5.3 <i>Прокатка товстих листів</i> .....	14
2.5.4. <i>Прокатка гарячекатаних тонких широких штаб</i> .....	16
2.5.5 <i>Холодна прокатка листової або штабової сталі і стрічки</i> .....	19
2.5.6 <i>Методика розрахунку енергосилових параметрів</i> .....	26
3 ПРИКЛАД РОЗРОБКИ РЕЖИМУ ВИРОБНИЦТВА ГАРЯЧЕКАТОНОЇ ШТАБИ 2X1250 мм .....	29
3.1 Розробка режиму деформації штаби 2x1250 мм в чорновій групі .....	29
3.2 Розрахунок енергосилових, кінематичних і температурних параметрів прокатки .....	30
3.2.1 <i>Допустимі сили по міцності бочки і шийки опірних валків</i> .....	30
3.2.2 <i>Розрахунок температури розкату</i> .....	31
3.2.3 <i>Розрахунок сили прокатки</i> .....	32
3.2.4 <i>Розрахунок потужності та крутячих моментів</i> .....	33
3.3 Розробка режиму деформації штаби 2x1250 мм в чистовій групі .....	34
3.4 Розрахунок енергосилових параметрів чистової групи .....	35
3.4.1 <i>Вибір температурно-швидкісного режиму прокатки</i> .....	35
3.4.2 <i>Розрахунок силових параметрів прокатки</i> .....	37
РЕКОМЕНДОВАНИЙ СПИСОК ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ .....	40
ДОДАТКИ .....	41

## ВСТУП

Листова сталь є одною з найбільш економічних видів прокатної продукції. З листової сталі виготовляють труби, гнуті профілі, різноманітні штамповані і зварні конструкції. Листовий прокат використовується для виготовлення більш тонкостінних труб і більш легких профілів. Частка листового прокату в загальному об'ємі прокатної продукції складає 50-70 %. Тонколистову штабову сталь, а також штаби товщиною до 8-16 мм прокатують на безперервних і напівбезперервних широкоштабових станах, які характеризуються високою продуктивністю (до 4-6 млн. т і більше на рік) і розраховані на прокатку штаб шириною до 2000-2300 мм зі швидкістю до 23-27 м/с. Особливу актуальність придбали питання економії металу, енергоресурсів, трудових і інших матеріальних витрат (інструмент, технологічне змащення, кислоти і т.д.) при виробництві прокату. Крім очевидної доцільності, це викликано також значним підвищенням цін на сировину й енергоносії, тенденція до росту яких у найближчі роки збережеться. Рішення задач, пов'язаних з підвищенням ефективності виробництва, збільшенням випуску, розширенням асортименту і поліпшенням якості прокату здійснюється, головним чином, по двох напрямках:

- удосконалювання діючого устаткування й існуючих технологій, створення нових чи інтегрованих технологічних процесів і устаткування для їхньої реалізації;

- застосування систем автоматизованого керування технологічним процесом і його оптимізації.

Метою даного курсового проекту є навчити студентів розробляти раціональні режими деформації і розраховувати енергосилові параметри при виробництві штаб.

## **1 ЗМІСТ, ОФОРМЛЕННЯ Й ПОДАННЯ РОБОТИ**

### **1.1 Зміст роботи по розділах**

Темами курсових проєктів передбачається вибір типу прокатного стану та компоновка його агрегатів в технологічну лінію відповідно заданих для виробництва профілерозмірів металопрокату.

Курсовий проєкт складається із розрахунково-пояснювальної записки та графічної частини.

Розрахунково-пояснювальна записка має містити в собі:

- титульний аркуш;
- завдання на виконання роботи;
- вступ;
- вибір прокатного стану;
- стислі технічні характеристики головних і допоміжних агрегатів;
- попередню компоновку агрегатів стану в технологічну лінію;
- опис технологічного процесу;
- розрахункову частину;
- аналіз розрахунків і висновки;
- перелік використаної літератури.

Графічна частина виконується на двох аркушах стандартних форматів з кресленнями остаточно обраного варіанту компоновки агрегатів технологічної лінії прокатного стану та технологічних графіків.

### **1.2 Формат сторінок і абзаців**

Як правило, текст робіт оформляється в середовищі (Win)Word (версії 97 і вище). Формат – А4 (210×297 мм), орієнтація книжкова, роздруківка - одностороння.

Поля розкладки сторінки: нижнє, верхнє - 20 мм; лівє - 25 мм, правє - 15 мм. Абзацний відступ - 12,7 мм. Інтервал - одинарний. Шриффт - Times New Roman, 14 пт, колір шрифту - чорний. Вирівнювання - по ширині сторінки.

### **1.3 Термінологія й розмірність фізичних одиниць**

При підготовці тексту роботи слід строго дотримуватися однаковості термінів, размерностей і умовних позначок. При введенні умовних позначок, їх варто повністю розшифрувати при першому згадуванні. Дозволяється використати тільки загальноприйняті скорочення. Одиниці фізичних величин варто приводити тільки в системі «СИ» (виключення можуть становити лінійні розміри, які традиційно вимірюються в мм).

### **1.4 Математичні формули**

Математичні формули набираються в редакторі формул (Equation Editor), що входить до складу (Win)Word. Варто використати установки за замовчуванням (похилий курсив). Допускається звичайний рядковий набір

простих формул у тексті й на окремому рядку з використанням спеціальних знаків вставки "Символ".

Формули варто розташовувати по середині сторінки, а посилання на формулу в круглих дужках необхідно вирівнювати по правому полю. Номера посилань на формули повинні розташовуватися в зростаючій послідовності. На пронумеровані формули обов'язково повинні бути посилання в тексті. Формула не нумерується, якщо на неї надалі не посилаються.

Всі літерні позначення, що входять у формулу, повинні бути розшифровані після формули або в тексті, наприклад: «... радіальна напруга  $\sigma_r$  визначається залежністю

$$\sigma_r = -\beta \times \sigma_s \ln(R/\rho), \quad (1)$$

де  $\beta$  – фактор Лодє;

$\sigma_s$  – границя текучості, МПа;

R – радіус зовнішнього контуру, мм;

$\rho$  – поточне значення радіуса, мм».

При згадуванні посилань варто вказувати вид залежності, наприклад, "...зі співвідношення (рівняння, вираження, залежності, формули, нерівності й т.д.) треба, що...".

### 1.5 Оформлення таблиць

У тексті роботи таблиці повинні мати наскрізну нумерацію. Перше посилання на таблицю повинна передувати самій таблиці (наприклад, "у табл. 2 дані...", а наступні посилання повинні мати вигляд: "(див. табл. 2)". Приклад оформлення таблиці див. у розд. 2.1. При необхідності переносу таблиці, її варто попередньо розбити, над перенесеною на наступну сторінку частиною таблиці помістити вирівняну по правій стороні аркуша напис "Продовження табл. 2". При цьому заголовки таблиці повторюється на наступній сторінці (вбудована опція повторення заголовка таблиць є в табличному редакторі програми "Word"). Текст в осередках заголовка таблиці повинен починатися із прописної букви. Дані в осередках таблиці варто вирівнювати з міркувань значеннєвої доцільності й естетики сприйняття.

### 1.6 Формати документів стандартних програм обробки даних

У розд. 4 роботи передбачається використання стандартних програм "MathCAD" і "EXCEL" для обробки отриманих залежностей з метою їхньої візуалізації й полегшення аналізу. У першу чергу, мова йде про рисунки й діаграми, формат яких відрізняється від форматів, передбачених вітчизняними стандартами. Таким рисункам і діаграмам у тексті роботи варто подати таблицю даних або залежність (для EXCEL), або ж блок вихідних даних перед побудовою діаграми (MathCAD). Самі ж графічні залежності оформляються як рисунки з наскрізною нумерацією. У пояснювальній частині розд. 4 варто привести прийняті умовні позначки, необхідні для розуміння таких діаграм і рисунків.

### 1.7 Оформлення рисунків

Рисунки – креслення, ескізи, графіки, діаграми – повинні оформлятися відповідно до вимог ЕСКД. Рисунки можуть виконуватися засобами «Word», «AutoCAD», «КОМПАС» (з наступною вставкою в текст пояснювальної записки) або за допомогою інших графічних редакторів. Допускається використання отсканованих графічних матеріалів гарної якості в оглядовій частині роботи. Всі рисунки повинні мати підрисуюнчну напис у вставній рамці "Напис" (є в вбудованому графічному редакторі "Word"). Вставна рамка повинна бути згрупована з рисунком. Для згрупованих рисунків варто призначати обтікання "навколо рамки", якщо рисунок займає менш половини сторінки завширшки, і "зверху й знизу" - для більше широких рисунків.

Текст у тілі рисунка повинен бути приблизно того ж розміру, що й основний текст пояснювальної записки. Іноді цими міркуваннями визначається й сам його розмір. Всі позиції, зазначені на рисунку, повинні мати пояснення в підрисуюнчному напису або ж у тексті пояснювальної записки. У міру можливого, позиції на рисунку варто розташовувати по годинній стрілці в порядку зростання номера позиції. Нижче дається приклад оформлення рисунка:

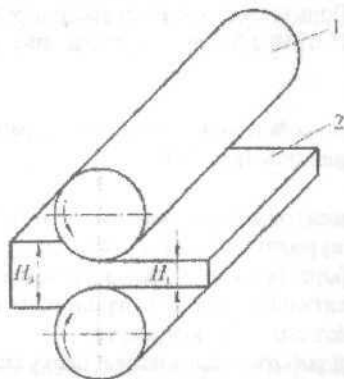


Рис. 1. Схема процесу поздовжньої прокатки: 1 – верхній валок; 2 – нижній валок.

Рисунки повинні бути чіткими й включати тільки необхідні для пояснення суті елементи. По можливості слід дотримуватися однаковості виконання рисунків. В інших випадках варто керуватися міркуваннями домірності й естетики.

Посилання на рисунок повинна передувати самому рисунку, наприклад, "на рис. 1 показане розташування профілю...". Наступні посилання на цей же рисунок оформляються так: "(див. рис. 1)".



### 1.8 Оформлення бібліографічного списку

Бібліографічний список складається в порядку їхнього цитування з описом джерел відповідно до ГОСТ 7.1-2003.

Приклади бібліографічного опису.

#### 1. Стаття в журналі:

Филимонов В.И. Условия замыкания калибров при интенсивном формообразовании открытых профилей в роликах / В. И. Филимонов, С. В. Филимонов // Производство проката. – 2004. – № 11. – С. 23 – 29.

#### 2. Книга:

Филимонов С.В. Метод, расчеты и технология интенсивного деформирования в роликах гнутых профилей типовой номенклатуры / С. В. Филимонов, В. И. Филимонов – Ульяновск: УлГТУ, 2004. – 246 с.

#### 3. Патент:

Патент 2228232 РФ, МПК<sup>7</sup> В 21 D 5/06. Способ изготовления широкопоп лочных швеллерных и корытных симметричных тонкостенных профилей в роликах / В. И. Филимонов, В. А. Марковцев, С. В. Филимонов. – Оpubл. 10.05.04. Бюл. № 13.

#### 4. Дисертація:

Богданов В. В. Повышение эффективности ... жидкостей: дис. ... кан. техн. наук: 05.02.08, 05.03.01 / Ульян. политехн. ин-т. – Ульяновск, 1981. – 383 с.

#### 5. Довідник:

Технологичность конструкции изделия: справочник / под ред. Ю. Д. Амирова. – М.: Машиностроение, 1990. – 768 с.

### 1.9 Компонування, палітурні роботи, зберігання курсової роботи

Компонування курсової роботи здійснюється відповідно до розд. 2.1. Аркуші курсової роботи брошуруються з наскрізною нумерацією сторінок, включаючи додатки; титульний аркуш є першим для нумерації; на ньому номер не проставляється; зміст сам себе не нумерує.

Аркуші курсової роботи зшиваються в папку (пластикову або картонну) з рівним зовнішнім обрізом. Не допускається брошурування роботи східчасто, зі зрушенням аркушів. На верхній обкладинці папки повинна бути розміщена наклейка, що представляє собою стислий (приблизно в 3 рази) титульний аркуш роботи.

Для пластикових папок із прозорою верхньою обкладинкою наклейка не потрібна. Після захисту курсової роботи передаються на кафедру для зберігання протягом одного року з наступним знищенням у присутності членів спеціальної комісії.

## 2 ВИКОНАННЯ РОБОТИ Й ВИМОГИ ДО ЇЇ СКЛАДОВИХ ЧАСТИН

### 2.1 Вступ

У вступі має бути викладено роль технологічних ліній, зокрема прокатних станів, у сучасному металургійному виробництві, стисла класифікація прокатних станів за призначенням, значення спеціалізації прокатних станів у виробництві металопродукції та тенденції розвитку конструкцій прокатного обладнання для виробництва тих чи інших профілів прокату.

Приклади:

– в завданні указані блом або сляб. Необхідно викласти тенденції розвитку обтискних станів та порівняти їх технологічні лінії з машинами безперервного розливу сталі в напівпродукти;

– якщо за тематикою задані товста штаба, тонка гаряче- або холоднокатана штаба чи листи, то необхідно розглянути тенденції розвитку конструкцій обладнання відповідно товсто- чи тонкоштабових станів гарячої або холодної прокатки.

### 2.2 Вибір прокатного стану

Попередньо тип стану обирається згідно заданих форм і розмірів профілю, зазначеного в темі курсової роботи. Причому, вибір стану має бути обґрунтованим як технологічно, так і економічно. Розглянемо декілька прикладів.

Приклад 1.

Вибрати стан для виробництва слябів з розмірами перерізу 200x1500 мм зі Ст.3.

Діаметр валків вибирають із практичної умови повного продеформування (пропрацювання) литої структури зливка по поперечному перерізу, яка досягається за наступного співвідношення більшої сторони перерізу зливка  $H$  до діаметру  $D$ :

$$H/D < 0,5 \quad (1)$$

Відносно невеликі обтиски в перших трьох проходах ( $\Delta h \approx 80$  мм) при максимальній величині середнього перерізу бломінгових зливків як на підприємствах України так і в світовій практиці  $H \approx 800$  мм тільки ущільнюють литу структуру без її продеформування в центральній зоні зливка. Тому після двох, а для гарантії трьох абсолютних обтисків  $\Delta h$  по 80мм, розрахункова сторона перерізу  $H_p$  становитиме:

$$H_p = H_{\max} - 3 \Delta h = 800 - 3 \times 80 = 560 \text{ мм.}$$

Звідси дістанемо діаметр валків  $D$ :

$$D = H_p / 0,5 = 560 / 0,5 = 1120 \text{ мм.}$$

З урахуванням переточування валків приймається слябінг 1350.

Приклад 2.

Вибрати стан для виробництва товстих листів розмірами 20x2650 мм із малолегованої сталі 12ГС.

Найбільш поширені агрегати для виробництва товстолистової сталі - двохкільцеві стани. Сучасні технологічні лінії товстолистових станів мають у своєму складі першу кліть з вертикальними валками, другу та третю кліті, відповідно чорнову та чистову, - з горизонтальними валками. На нових товстолистових станах використовуються як чорнова, так і чистова кліті, тільки чотирихвалкові, або кліті кварто. Цим вимогам відповідають стани 2800 і 3600, які працюють на Україні (стани 2800 на Алчевському і Комунарському заводах, стан 3600 - на Маріупольському заводі «Азовсталь»).

Але в нашому випадку стани 2800 не підходять із-за недостатньої довжини бочки валків. Практикою конструювання та експлуатації товстолистових станів зумовлені такі співвідношення між шириною листів  $B$  і довжиною бочки валків  $L_6$ :

$$L_6 = B_{\text{max}} + 300 \text{ мм} \quad (2)$$

Де  $B_{\text{max}}$  — максимально допустима ширина листів для даної довжини бочки валків  $L_6$ .

У нашому випадку довжина бочки валків має дорівнювати:

$$L_6 = 2650 + 300 = 2950 \text{ мм.}$$

По лімітованому параметру  $L_6$  вибираємо двохкільцевий стан 3000 Маріупольського заводу ім. Ілліча. Особливо підкреслимо, що стан 3000 якраз і прокатує порівняно з іншими товстолистовими станами листи товщинами від 5 до 25 мм з максимальною шириною 2700 мм і є найновішим із нині діючих в Україні. Технічні характеристики товстолистових станів наведені в додатку 1.

### Приклад 3.

Вибрати стан для виробництва широких гарячекатаних штаб розмірами 1,5x1500 мм із сталі марки 3пс.

Сучасні стани для прокатки широких штаб із вуглецевих і малолегованих сталей - це безперервні стани. Стани для гарячої прокатки - агрегати, технологічна лінія котрих складається із 10... 15 послідовно розташованих робочих клітей, розподілених на дві групи: чорнову та чистову.

В світовій практиці такі стани називають доволі умовно безперервними, але говорячи точніше, ці стани відносяться до категорії змішаних, тому, що процес прокатки в чорновій групі клітей не безперервний, а послідовний. Вірніше такі стани належить називати послідовно- безперервними. Існує декілька типів компоновки таких станів в залежності від загальної кількості робочих клітей. Чорнова група розпочинається з випсоламачів з горизонтальними або вертикальними валками, або ж і того і другого, за якими розташовані 4...7 робочих універсальних клітей кварто. Відстань поміж клітями дещо більша максимальної довжини.

На сучасних станах останнього покоління при кількості основних чорнових клітей від 5 до 7 відповідно 2 чи 3 останні кліті об'єднують в безперервну підгрупу, що зменшує загальну довжину технологічної лінії стану та довжину будівлі і комунікацій. Чистова група складається із чистового випсоламача і 6... 8 робочих клітей кварто.

Чим більша загальна кількість робочих клітей, тим більш тонкі штаби можливо прокатати. По довжині бочки валків найбільш поширені стани 1700, 2000...2300 мм (дивися додаток Д2). Для таких станів довжина бочки валків  $L_6$  має дорівнювати:

$$L_6 = B_{\max} + (150... 200) \text{ м} \quad (3)$$

де  $B_{\max}$  - максимальна ширина штаб в сортаменті стану.

Для умов нашого прикладу:

$$L_6 = 1500 + 200 = 1700 \text{ мм.}$$

Таким чином за довжиною бочки валків обираємо стан 1700, аналог якого експлуатується на Маріупольському заводі ім. Ілліча.

Приклад 4.

Вибрати стан для прокатки холоднокатаних штаб або стрічок.

Стани холодної прокатки за кількістю клітей поділяють на безперервні багатоклітьові, які мають чотири, п'ять або шість клітей і одноклітьові реверсивні.

Тип клітей безперервних станів-кварто, реверсивних-кварто або багатовалкові.

Безперервні стани з клітьми кварто використовуються для прокатки вуглецевих і малолегованих сталей а також сталюї стрічки для виробництва жерсті. Одноклітьові реверсивні стани найчастіше прокатують леговані сталі в тому числі нержавіючі сталі, як наприклад, 20-ти валковий стан 1700 заводу «Запоріжсталь».

Таким чином, стан холодної прокатки обирається за шириною, товщиною і хімічним складом прокатуваної штаби.

Довжина бочки валків  $L_6$  цих станів в залежності від максимальної ширини штаб  $B_{\max}$  дорівнює:

$$L_6 = B_{\max} + A, \quad (4)$$

де: 1)  $A = 60... 100$  мм - для безперервних станів, які катають жерсть;

2)  $A = 80... 400$  мм - для реверсних, в тому числі багатовалкових станів для прокатки тонких стрічок і штаб із легованих сталей;

3)  $A = 75... 150$  мм - для безперервних чотирьох, п'яти і шести-клітьових станів, які прокатують широкі штаби товщиною від 0,3 до 3,5 мм із вуглецевих і малолегованих сталей.

Як видно із технічної характеристики станів холодної прокатки (дивися додаток Д3), для прокатки широкоштабової сталі товщиною від 0,3 до 3,5 мм із вуглецевих і малолегованих сталей безперервні 4-х і 5-тиклітьові стани мають довжину бочок валків приблизно ~1700, ~2000, ~2200, ~2300, ~2500 мм; безперервні чотирьох-, п'яти- і шестиклітьові стани для прокатки жерсті мають довжину бочок валків 450, 650, 1200 і 1400 мм.

Багатовалкові стани в залежності від призначення мають довжину бочок валків від 200 до 1700 мм.

При обґрунтуванні вибору стану холодної прокатки необхідно зупинитись на порівняльних перевагах та недоліках стану. Так, головними перевагами реверсивних станів в порівнянні з безперервними є те, що кількість

проходів при прокатуванні на перших необмежена, а у безперервних кількості проходів дорівнює кількості клітей. Крім того безперервні стани- мають набагато більшу вартість на стадіях проектування, будівництва і монтажних робіт.

Реверсивні стани набагато дешевші, але їх продуктивність в декілька разів менше від безперервних. Головним недоліком реверсивних станів є великі втрати металу у недокати, що потім відрізаються. Але в ряді випадків реверсивні стани, особливо багатовалкові, безальтернативні технологічні лінії для холодної прокатки стрічки, фольги і штаб із багатологованих сталей.

### **2.3 Попередня компоновка і технічні характеристики обладнання технологічної лінії стану**

Попередня компоновка технологічної лінії обраного прокатного стану виконується схематично на окремому аркуші записки, як показано в додатку Д1. Для цього треба віднайти в "Атласі..." [3], або в підручниках [1, 2, 4, 5] аналог обраного стану.

Далі описуються стислі технічні характеристики головних агрегатів ТЛ, якими є прокатні кліті з описом їх призначення. Приклади технічних характеристик основного механічного обладнання прокатних станів наведені в додатках Д1...Д6. Необхідно привести рисунки або кінематичні схеми головної лінії прокатної кліті, схему прокатної кліті і валків, приклади яких наведені в додатку Д2. Привести також призначення всіх передавальних механізмів головної лінії і всіх вузлів, механізмів та пристроїв прокатної кліті. Далі стисло описується призначення, типи і технічні характеристики допоміжного обладнання за порядком виконання технологічних процесів і операцій, наприклад, нагрівальних печей, випсоламачів, випсозбивачів, рольгангів, кантувачів, ножищів, пилок, холодильників, моталок, і т.і.

### **2.4 Опис технологічного процесу**

На початку привести схеми виробництва прокату, класично традиційну та з безперервним розливом сталі, відповідно до заданого профілю та вибраної ТЛ лінії стану. Узагальнені схеми виробництва прокату, як приклад, наведені в додатку Д8. В подальшому описуються призначення та головні дані технологічних операцій за порядком їх виконання. Наприклад, на ТЛ гарячої прокатки опис розпочинається з нагріву металу, далі описуються безпосередньо операції під час прокатування. Напоследок описуються закінчувальні технологічні операції, такі, як охолодження, термічна обробка, обрізка кінців, поріз на стандартні довжини, випрямлення та правка, штабелювання, і т.і. Як аналоги, використовуються описи технології виробництва, наведені в підручниках [1, 2, 4 - 6].

## 2.5 Розрахункова частина

### 2.5.1. Розрахунок параметрів деформації

Режими обтисків при прокатці бажано обирати за практичними даними, користуючись заводськими технологічними інструкціями. Можливо також самостійно розробляти таблиці режимів обтисків, користуючись аналогами, окремими таблицями, наведеними в підручниках [1, 3-6], чи в додатках цієї методики.

### 2.5.2. Прокатка слябів

Враховуючи, що проміжок  $S$  величина для валків кожної кліті залежить від розмірів прокачуваного штабу, автор із практичних даних рекомендує визначати катаючі діаметри  $D_k$  спрощеним методом:

- для блюмінгів та чорнових клітей сортових станів:

$$D_k = D_0/1,3;$$

- для клітей проміжних груп сортових і дровових станів:

$$D_k = D_0/1,15;$$

- для чистових клітей, крім останньої:

$$D_k = D_0/1,1;$$

- для останньої чистої кліті:

$$D_k = D_0/1,05.$$

Напоследок обраний стан та розрахункові режими деформації перевіряються на відповідність умовам захоплення металу валками за виразом:

$$\alpha_i = 57,3 \times \sqrt{\frac{\Delta h_i}{R_{k \min}}} \leq [\alpha], \text{ град} \quad (5)$$

де  $\alpha_i$  - кут захоплення металу валками  $i$ -ої кліті;

$[\alpha_i]$  - допустимий кут захоплення для  $i$ -ої кліті даного стану.

Розраховані параметри деформації звести у вигляді наступної таблиці:

Таблиця 2.1 - Геометричні параметри деформації при прокатуванні профілю  $m$  на стані  $n$ \*

№№ тип кліті	Розмір штаби, мм				Площа перерізу штаби, мм <sup>2</sup>		Коефіцієнти формації		Параметри осередку деформації	
	$H_0$	$B_0$	$h_1$	$b_1'$	$F_0$	$F_1$	$\mu$	$\Delta h$ , мм	$l$ , мм	$\alpha$ , мм
1Г										
...										
11В										
12Г										
...										
$n$ Г										

\* Примітки: індексом 0 позначають параметри на вході в кліть, а індексом 1 - на виході із кліті; Г і В - відповідно кліті з горизонтальними чи вертикальними валками.

### 2.5.3 Прокатка товстих листів

Деформація металу при прокатуванні товстих листів, гаряче- і холоднокатаної тонкоштабової сталі достатньо характеризується обтиском металу, завдяки відсутності розширення металу.

Обтиск, при цьому, обчислюють абсолютний за виразом:

$$\Delta h_i = h_{0i} - h_{1i}, \quad (6)$$

а також відносний  $\varepsilon$  :

$$\varepsilon = (\Delta h_i / h_{0i}) * 100\%. \quad (7)$$

На товстолістових станах прокатують плити товщиною  $h = 60 \dots 150$  мм, і товсті листи  $h = 10 \dots 50$  мм, із вуглецевих, мікрولهгованих та малولهгованих сталей. Для двох останніх використовується режим контрольованої прокатки з невеликими охолодженнями металу в паузах поміж проходами. Якщо при звичайному прокатуванні вуглецевої сталі на товсті листи і плити обтиски  $\Delta h$  в чорнових клітках знаходяться в межах  $30 \dots 10$  мм, то при контрольованому режимі обтиски дещо менші  $\Delta h = 25 \dots 5$  мм. В чистових клітках обтиски дещо менші  $\Delta h = 15 \dots 5$  мм, при звичайному та  $\Delta h = 8 \dots 1$  мм, при контрольованому режимі. Початкова товщина слябів  $200 \dots 170$  мм, інколи  $150$  мм. В табл. 2.2 і 2.3 наведені практичні режими обтисків на вітчизняних станах 2800 (м. Алчевськ) і 3600 (м. Маріуполь).

Таблиця 2.2 – Режим обтисків слябів  $180 \times 1050 \times 1800$  мм при прокатуванні товстих листів  $20 \times 2300 \times 6000$  мм із сталі 25 на стані 2800 Алчевського метзаводу

Кліть	Прохід	Розміри штаби, мм						Обтиск	
		До проходу			Після проходу			$\Delta h$ мм	$\varepsilon$ %
		$H_0$	$B_0$	$L_0$	$h_1$	$b_1$	$l_1$		
1 вертик.	1*	170	1050	1800	170	100	1800	-	-
1 чорнова	Повздовжня прокатка (збільшення ширини)								
	1	1700	1000	1800	145	1000	2110	25	14,7
	2	145	1000	2110	125	1000	2450	20	13,8
	Поперечна прокатка на задану довжину								
	3	125	2450	1000	105	2450	1190	20	16,0
	4	105	2450	1190	85	2450	1470	20	19,0
	5	85	2450	1470	70	2450	1785	15	17,6
	6	70	2450	1785	58	2450	2154	12	17,1
2 чистова	1	50	2450	2500	40	2450	3124	10	20,0
	2	40	2450	3124	32	2450	3950	8	20,0
	3	32	2450	3905	26	2450	4806	6	18,8
	4	26	2450	4806	22	2450	5680	4	15,4
	5	22	2450	5680	20	2450**	6248***	2	9,1

\*- Вертикальними валками сляб редується (обтискується) по ширині на 50 мм без зміни других розмірів.

\*\* - Листи по ширині обрізуються по 75 мм на кожную сторону.

\*\*\* - Листи по довжині обрізуються по 125 мм на кожен край.

Таблиця 2.3 – Режим обтисків слябів 250x1550x2300 мм із сталі 3 в горизонтальних валках при прокатуванні товстих листів 30x3200x12000 мм на стані 3600

Кліть	Прохід	Розміри штаби, мм						Обтиск	
		До проходу			Після проходу			$\Delta h$ мм	$\varepsilon$ %
		$H_0$	$B_0$	$L_0$	$h_1$	$b_1$	$l_1$		
1 чорнова	Поперечна прокатка (збільшення ширини)								
	1*	250	2300	1500	215	2300	1744	35	14,0
	2	215	2300	1744	175	2300	2142	40	18,6
	3	175	2300	2142	140	2300	2678	35	20,0
	4**	140	2300	2678	110	2300	3350	30	21,4
	Поздовжня прокатка на довжину								
5	110	3350	2300	80	3350	3163	30	27,2	
2 чистова	1	80	3350	3163	50	3350	5060	30	37,5
	2	50	3350	5060	30	3350	8433	20	40,0
	3	30	3350	8433	20	3350**	12650***	10	33,3

1 - до прокатки в чорновій клітці сляб обтискується по ширині на 50 мм в клітці з вертикальними валками;

\* - перед перним проходом в чорновій клітці сляб повертається на 90° для поперечної прокатки на ширину;

\*\* - в четвертому проході сляб обтискується одночасно по товщині і ширині (зменшення ширини ~ 60 мм).

Слід пояснити, що в клітках з вертикальними валками сляби попередньо редукуються (вирівнюються) по ширині. Вирівнювання ширини особливо важливе при використанні слябів, відлитих на МБРС. Окрім того, обтиск по ширині в значній мірі руйнує суцільний прошарок віпси на окремі фрагменти, які подальше збиваються водою високого тиску в гідрозбивачах.

Із табл. 2.2 видно, що кількість проходів і в чорновій і чистовій клітках не парна, що пояснюється реверсивним характером процесу прокатки. І останнє, деколи останній прохід в чистовій клітці виконується без обтиску для отримання листів з високоякісною геометрією форми, тобто без коробчатості та без хвилястості.

Порівнявши табл. 2.2 і 2.3, дійдемо висновку, що обтиски на стані 3600 значно більші, ніж на стані 2800. Так абсолютні обтиски сягають 40 мм, а відносні 40%, відповідно на стані 2800 - 25 мм, 20%. Це пояснюється тим, що стан 3600 сучасніший ніж стан 2800, міцність його механічного обладнання і потужність двигунів валків значно більша ніж у станів 2800. Користуючись табл. 2.2 і 2.3, складають режими обтисків, розраховують довжину осередку деформації

$$l_i = \sqrt{\Delta h_i * R_{pi \min}} \quad (8)$$



і перевіряють режим обтисків на відповідність умовам захоплення металу валками

$$\alpha \leq 57,3 \sqrt{\Delta h_i * R_{p \min}} \leq [\alpha], \quad (9)$$

де  $R_{p \min}$  - мінімальний радіус робочих валків після останнього перешліфування.

Результати розрахунків зводять до таблиці наступного вигляду

Таблиця 2.4 – Геометричні параметри деформації при прокатуванні

Кліть	Прохід	Розміри штаби, мм					Коефіцієнти і параметри деформації			
		До проходу			Після проходу		$\Delta h_2$ мм	$\varepsilon_2$ %	$l_1$ мм	$\alpha_2$ град
		$H_0$	$B_0$	$L_0$	$h_1$	$b_1$				

#### 2.5.4. Прокатка гарячекатаних тонких широких штаб

Сучасними ТЛ для виробництва гарячекатаної тонкоштабової сталі є безперервні широкоштабові стани (БШПС). Вихідним матеріалом на БШПС слугують сляби розмірами :

$$H_0 = 100 \dots 300 \text{ x } B_0 = 1500 \dots 2300 \text{ x } L_0 = 2500 \dots 13000 \text{ мм з масою до 50 т.}$$

Деяко умовно всі БШПС можливо поділити на старіше покоління (стани 1700) і сучасне (стани 2000...2300). Відповідно цьому розподілу в таблиці 4.5 наведені режими обтисків в чорнових та чистових групах клітей БШПС 1700 і 2000...2300. Користуючись цією таблицею, можливо без особливих ускладнень розрахувати режими обтисків на обраному БШПС. Розрахунок розпочинають з останньої чистової кліті, враховуючи те, що сумарний обтиск в чистових групах складає 10...30%, а чорнових 90...70% від повного обтиску на стані. Як це зробити практично розглянемо деяко пізніше на числовому прикладі. В гарячому стані прокатують штаби товщинами 1... 16 мм. Причому для прокатки штаб більшої товщини використовують і більш товсті сляби і навпаки для штаб малих товщин обирають сляби мінімальної товщини.

Експлуатація БШПС показує, що найтяжче в технологічно-енергетичному плані прокатувати тонкі штаби. Досягнення технологічної сталості, як показує практика, можливо при правильному виборі співвідношень товщини сляба  $h_{сл}$ , розкату після чорнової групи  $h_{чр}$  і товщини штаби  $h_{шт}$ , тобто:

$$h_{сл} / h_{чр} / h_{шт}.$$

Рекомендується для найтонших штаб приймати дані, наведені в табл. 4.6

Користуючись табл. 4.6, визначимо частку чорнової та чистової груп клітей в загальному обтиску:

$$h_{сл} = 305 \text{ мм}; h_{шт} = 2,0 \text{ мм};$$

$$\Delta h_{\Sigma} = h_{сл} - h_{шт} = 305 - 2 = 303 \text{ мм};$$

$$\Delta h_{\Sigma} = \Delta h_{чр} + \Delta h_{чч} = 267 + 36 = 303 \text{ мм}.$$

Таким чином:

$$\varepsilon_{чр(\text{часткова})} = 267/303 = 88,1 \%;$$

$$\varepsilon_{чч(\text{часткова})} = 36/303 = 11,9 \%$$

Таблиця 2.5 – Режими обтисків слябів на тонкоштабову гарячекатану сталь на БШПС

Стани 1700				Стани 2000...2300			
Група клітей	№№ кліті	обтиски		Група клітей	№№ кліті	обтиски	
		$\Delta h, \text{мм}$	$\epsilon, \%$			$\Delta h, \text{мм}$	$\epsilon, \%$
Чорнова	1	30...50	20...35	Чорнова	1	50...70	20...35
	2	20...35	25...40		2	45...60	25...35
	3	10...20	35...40		3	40...55	30...45
	4	10...15	30...45		4	30...45	35...45
	5	7...10	25...45		5	15...20	30...45
Чистова	1	$\frac{6 \dots 12^*}{6 \dots 8^{**}}$	$\frac{45 \dots 50^*}{25 \dots 35^{**}}$	Чистова	1	$\frac{14 \dots 18^*}{12 \dots 13^{**}}$	$\frac{45 \dots 60^*}{30 \dots 35^{**}}$
		$\frac{3.5 \dots 4.5}{5 \dots 6}$	$\frac{30 \dots 35}{25 \dots 30}$			2	$\frac{5 \dots 10}{10 \dots 13}$
	3	$\frac{2 \dots 3}{3.0 \dots 3.5}$	$\frac{25 \dots 35}{25 \dots 30}$		3	$\frac{1.5 \dots 2.5}{3 \dots 4}$	$\frac{25 \dots 35}{30 \dots 30}$
		$\frac{1.5 \dots 2.0}{1.5 \dots 2.0}$	$\frac{24 \dots 33}{15 \dots 25}$		4	$\frac{1.0 \dots 2.0}{2.0 \dots 3.0}$	$\frac{25 \dots 30}{20 \dots 25}$
	5	$\frac{0.7 \dots 1.2}{1.0 \dots 1.5}$	$\frac{20 \dots 30}{10 \dots 20}$		5	$\frac{0.5 \dots 1.5}{1.0 \dots 1.5}$	$\frac{20 \dots 25}{10 \dots 20}$
		6	$\frac{0.3 \dots 0.7}{0.5 \dots 0.3}$		$\frac{10 \dots 13}{8 \dots 15}$	6	$\frac{0.4 \dots 0.8}{0.8 \dots 1.2}$
						7	$\frac{0.2 \dots 0.3}{0.4 \dots 0.8}$

\* - в чисельнику наведені обтиски під час прокатування штаб товщиною  $h < 4 \text{мм}$ ;

\*\* - в знаменнику наведені обтиски під час прокатування штаб товщиною  $h \geq 4 \text{мм}$ .

Таблиця 2.6 – Співвідношень товщини чорнової та чистової групи

Чорнова група із 5-ти клітей				Чистова група					
$h_{\text{сл}}$ тах, мм	$h_{\text{чр}}$ мм	$\Delta h_{\text{чр}}$ мм	$\epsilon\%$ $\Sigma \text{чр}$	Із 6-ти клітей			Із 7-ми клітей		
				$h_{\text{ш}}$ мм	$\Delta h$ мм	$\epsilon, \%$	$h_{\text{ш}}$ мм	$\Delta h$ мм	$\epsilon, \%$
305	38	267	87,5	-	-	-	2	36	94,7
255	32	223	87,5	-	-	-	1,3	30,7	95,9
205	25	180	87,8	1,7-2,7	23,3-22,3	93,2-89,2	1,0	24	96,0

Запорізька державна  
інженерна академія  
БІБЛІОТЕКА

7у

Ці розрахунки показують, що при прокатуванні штаб мінімальної товщини частка чорнової групи в загальному обтиску сягає  $\approx 90\%$ , чистової  $\approx 10\%$ . При прокатуванні найтовщих штаб навпаки, частка чорнової групи клітей в загальному обтиску зменшується до  $\approx 70\%$ , а чистової – збільшується до  $30\%$ .

Приклад:

Розрахувати режим деформації для прокатки штаби  $2,0 \times 1500$  із ст.3пс.

Якщо нами раніше обрано БШПС 1700, то відповідно табл. 4.10 маємо для цього стану:

$$\Sigma \Delta h_{\text{max чр}} = \Delta h_{\text{max 1}} + \Delta h_{\text{max 2}} + \Delta h_{\text{max 3}} + \Delta h_{\text{max 4}} + \Delta h_{\text{max 5}} = 45 + 35 + 20 + 15 + 10 = 125 \text{ мм};$$

В чистої групі при прокатуванні штаб  $h < 4$  мм:

$$\Sigma \Delta h_{\text{max чс}} = \Delta h_{\text{max 1}} + \Delta h_{\text{max 2}} + \Delta h_{\text{max 3}} + \Delta h_{\text{max 4}} + \Delta h_{\text{max 5}} = 12 + 4,5 + 3 + 1,2 + 0,4 = 23,1 \text{ мм};$$

Приймаємо максимальний сумарний обтиск в чорновій групі 125 мм, в чистої 23 мм, тоді товщина слябу:

$$h_{\text{сн}} = h_{\text{ш}} + \Sigma \Delta h_{\text{max чр}} + \Sigma \Delta h_{\text{max чс}} = 2,0 + 125 + 23 = 150 \text{ мм}.$$

Сумарний обтиск на стані  $\Delta h_{\Sigma \sigma}$ :

$$\Delta h_{\Sigma \sigma} = h_{\text{сн}} - h_{\text{ш}} = 150 - 2 = 148 \text{ мм}.$$

Відповідно табл. 4.11 приймаємо частку чорнової групи в загальному обтиску рівній 0,88, тобто абсолютний обтиск в чорновій групі складає:

$$\Delta h_{\Sigma \text{чр}} = 0,88 \times \Delta h_{\Sigma \sigma} = 0,88 \times 148 = 130,2;$$

і відповідно в чистої:

$$\Delta h_{\Sigma \text{чс}} = 0,88 \times \Delta h_{\Sigma \sigma} = 0,12 \times 148 = 17,8 \text{ мм}.$$

Остаточо приймаємо:

$$h_{\text{ш}} = 2 \text{ мм}; h_{\text{сн}} = 150 \text{ мм}; \Delta h_{\Sigma \text{чр}} = 130 \text{ мм}; \Delta h_{\Sigma \text{чс}} = 18 \text{ мм}; \Delta h_{\Sigma \sigma} = 148 \text{ мм};$$

$$h_{\text{прокату}} = 2 + 18 = 20,0 \text{ мм}.$$

Користуючись табл. 2.5 і 2.6, розподіляємо сумарні обтиски поміж клітями чорнової та чистої групи БШПС 1700.

Таблиця 2.7 – Розподіл обтисків поміж клітями чорнової групи

№№ кліті	1	2	3	4	5
$h_0$ , мм	150,0	105,0	65,0	40,0	27,0
$h_1$ , мм	105,0	65,0	40,0	27,0	20,0
$\Delta h$ , мм	45,0	40,0	25,0	13,0	7,0
$\epsilon$ , %	23,3	38,1	38,5	32,5	26,0
[ $\epsilon$ ] із т. 4.10	35,0	40,0	40,0	45,0	45,0

Перевірка табл. 2.7 за двома умовами:

$$\Delta h_{\Sigma \text{чр}} = \Delta h_1 + \Delta h_2 + \Delta h_3 + \Delta h_4 + \Delta h_5 = 45 + 40 + 25 + 13 + 7 = 130 \text{ мм};$$

$$h_{\text{прокату}} = h_{\text{сн}} - \Delta h_{\Sigma \text{чр}} = 150 - 130 = 20 \text{ мм}.$$

Перевірка табл. 2.8:

$$\Delta h_{\Sigma \text{чс}} = \Delta h_1 + \Delta h_2 + \Delta h_3 + \Delta h_4 + \Delta h_5 = 10 + 3,5 + 2,3 + 1,4 + 0,6 + 0,2 = 18 \text{ мм};$$

$$h_{\text{ш}} = h_{\text{прокату}} - \Delta h_{\Sigma \text{чс}} = 20,0 - 18,0 = 2,0 \text{ мм}.$$

Таблиця 2.8 – Розподіл обтисків поміж чистовими клітьми

№№ кліті	1	2	3	4	5	6
$h_0$ , мм	20,0	10,0	6,5	4,2	2,8	2,2
$h_1$ , мм	10,0	6,5	4,2	2,8	2,2	2,0
$\Delta h$ , мм	10,0	3,5	2,3	1,4	0,6	0,2
$\epsilon$ , %	50,0	35,0	35,0	33,0	21,4	9,1
$[\epsilon]$ із т.4.10	50,0	35,0	35,0	33,0	30,0	13,0

Із табл. 2.7 видно, що при прокатуванні в чорнових клітьх  $\epsilon < [\epsilon]$ , а в чистових клітьх 1, 2, 3 і 4  $\epsilon = [\epsilon]$ , тобто розподіл обтисків відповідає вимогам практичних даних табл. 2.5 і 2.6.

### 2.5.5 Холодна прокатка листової або штабової сталі і стрічки

ТЛ для виробництва холоднокатаної листової чи штабової сталі є реверсивні чи безперервні стани. Вихідним матеріалом для холодної прокатки на сучасних ТЛ є гарячекатані штаби, згорнуті в рулони.

Режими обтисків при холодному прокатуванні визначаються типом стану, кількістю клітей безперервного стану, хімічним складом прокатуваної сталі.

БШПСС холодної прокатки можуть мати 4, 5 або 6 клітей, причому останні катають стрічку для подальшого виробництва жерсті. БШПСС холодної, як і гарячої прокатки також, хоч і дещо умовно, можливо класифікувати на 4-х клітьові стани 1700 і 5-і клітьові, більш сучасні стани 2000...2300. Для розрахунку режимів обтисків автором узагальнені режими прокатки для таких станів, які відповідно наведені в табл. 4.14 і 4.15.

Режими обтисків на БШПСС холодної прокатки заводу «Запоріжсталь» подібні до наведених у табл. 2.9.

Таблиця 2.9 – Режими обтисків на БШПСС 1700<sup>1</sup> холодної прокатки

№ п/п	Товщи на* $h_{гк}$ - $h_{хк}$ , мм	Кліть 1			Кліть 2			Кліть 3			Кліть 4		
		$h_{11}$ мм	$\Delta h_1$	$\epsilon_1$ %	$h_{12}$ мм	$\Delta h_2$	$\epsilon_2$ %	$h_{13}$ мм	$\Delta h_3$	$\epsilon_3$ %	$h_{14}$ мм	$\Delta h_4$	$\epsilon_4$ %
1* *	2,0-0,8	1,60	0,40	20,0	1,20	0,4	21	0,95	0,25	21	0,8	0,15	16
2	2,3-1,0	1,90	0,40	17,0	1,50	0,4	21	1,20	0,30	20	1	0,2	17
3	3,0-1,0	2,15	0,85	28,0	1,55	0,6	28	1,15	0,40	26	1	0,15	13
4	3,0-1,2	2,3	0,7	23,0	1,75	0,55	24	1,35	0,40	23	1,2	0,15	11
5	3,0-1,3	2,3	0,7	23,0	1,8	0,5	28	1,45	0,35	20	1,3	0,15	10
6	3,5-1,4	2,6	0,9	26	1,95	0,65	25	1,55	0,4	20	1,4	0,15	10
7	3,5-1,5	2,6	0,9	26	2,0	0,6	23	1,65	0,35	18	1,5	0,15	9
8	4,0-1,7	2,95	1,05	26	2,25	0,7	24	1,85	0,4	18	1,7	0,15	8,1
9	4,5-2,0	3,5	1,0	22	2,7	0,8	23	2,2	0,5	18	2	0,2	9

10 ** *	2,0-0,5	1,35	0,65	32,5	0,87	0,48	35, 6	0,60	0,27	31	0,5	0,1	16,7
11	2,3-0,6	1,4	0,9	39	0,95	0,45	32	0,70	0,25	26	0,6	0,1	14,3
12	2,5-0,7	1,6	0,9	36	1,1	0,5	31, 2	0,82	0,28	25,4	0,7	0,12	15
13	2,5-0,8	1,7	0,8	32	1,24	0,46	27	0,94	0,3	24	0,8	0,14	15
14	2,7-0,8	1,8	0,9	33,4	1,25	0,55	30, 6	0,95	0,3	24	0,8	0,15	15,9
15	2,7-0,9	1,85	0,85	31,5	1,35	0,5	27	1,05	0,3	22,2	0,9	0,15	14,3

\* -  $h_{гк}$  - товщина вихідної гарячекатаної штаби;  $h_{хк}$  - товщина кінцевої холоднокатаної штаби;

\*\* - для режимів 1...9 - ширина штаб 1030...1550 мм; \*\*\* - для режимів 10...15 - ширина штаб 1030...1270 мм з обмеженням швидкості прокатки. <sup>1</sup> - технічна характеристика БПШС 1700 холодної прокатки наведена в додатках 2.

Таблиця 2.10 – Режими обісків на БПШС 2030<sup>1</sup> холодної прокатки

№ п/ п	Тов щи на* $h_{гк}$ - $h_{хк}$ , мм	Кліть 1			Кліть 2			Кліть 3			Кліть 4		
		$h_{11}$ мм	$\Delta h_1$	$\varepsilon_1$ %	$h_{12}$ мм	$\Delta h_2$	$\varepsilon_2$ %	$h_{13}$ мм	$\Delta h_3$	$\varepsilon_3$ %	$h_{14}$ мм	$\Delta h_4$	$\varepsilon_4$ %
1	2,0- 0,4	1,19	0,81	40,5	0,82	0,37	31,1	0,24	29,3	29,3	0,45	0,13	22,4
2	2,2- 0,4	1,26	0,94	42,3	0,84	0,42	39,3	0,26	31,0	31,0	0,45	0,13	22,4
3	2,6- 0,7	2,02	0,58	22,3	1,4	0,62	30,7	0,37	26,4	26,4	0,8	0,23	22,3
4	2,6- 0,7	1,97	0,63	24,2	1,36	0,63	31,0	0,38	28	28	0,78	0,2	20,4
5	2,6- 0,7	1,84	0,76	29,2	1,33	0,51	27,7	0,35	26,3	26,3	0,78	0,2	20,4
6	2,4- 0,7	1,86	0,54	22,5	1,32	0,54	29,0	0,36	26,5	26,5	0,77	0,2	20,6
7	3,3- 1,0	2,5	0,8	21,9	1,85	0,65	26,0	0,42	22,7	22,7	1,15	0,28	19,6
8	3,5- 1,0	2,68	0,82	23,4	1,9	0,78	29,1	0,5	26,3	26,3	1,12	0,28	20,0
9	3,6- 1,5	2,92	0,68	18,9	2,32	0,6	20,5	0,45	19,4	19,4	1,63	0,24	12,8
10	4,0- 1,5	3,24	0,76	19,0	2,45	0,79	24,4	0,5	20,4	20,4	1,65	0,3	15,4
11	4,2- 2,0	3,5	0,7	16,7	2,9	0,6	17,1	0,43	14,8	14,8	2,18	0,29	11,7
12	4,5-	3,62	0,88	19,6	3,0	0,62	17,1	0,49	16,3	16,3	2,17	0,34	13,6

	2,0												
13	5,5- 2,5	4,6	0,9	16,4	3,9	0,7	15,2	0,6	15,4	15,4	2,78	0,52	15,8
14	6,0- 3,5	4,9	1,1	18,3	4,3	0,6	12,2	0,4	9,3	9,3	3,65	0,25	6,4

<sup>1</sup> - технічна характеристика стану 2300 наведена в додатках 2.

Під час тонкоштабової прокатки як в гарячому, так і в холодному стані розпш відсутнє. Для поперечної сталості штаби прокатку проводять з натягом металу. Сила, момент та потужність прокатки збільшуються зі зменшенням товщини та зі збільшенням ширини прокатуваних штаб. Тому для тонких штаб обмежують їх ширину а подекуди і швидкість прокатки. Максимально допустимі товщини вихідних гарячекатаних штаб і сумарні відносні обтиски для БШПС 2030 в залежності від товщини та ширини холоднокатаних штаб наведені в табл. 2.11

Таблиця 2.11 – Максимально допустимі значення товщини гарячекатаних вихідних штаб ( $h_{\max \text{ гк}}$ ) і сумарних обтисків ( $\epsilon_{\Sigma \max}$ , %) в залежності від товщини холоднокатаних штаб ( $h_{\text{хк}}$ ) та їх ширини (В).

$h_{\text{хк}}$ , мм	В, мм	$h_{\max \text{ гк}}$ , мм	$\epsilon_{\Sigma \max}$ , %
0,4	900, 1100, 1250, 1600	2,2	81,8
0,7	900, 1100, 1250, 1600	2,4	70,8
0,7	900, 1100, 1250	2,6	73,0
1,0	900, 1100, 1250	4,6	78,3
1,2	900, 1100, 1250	4,6	69,6
1,5	900, 1100, 1250, 1600	5,0	70,0
1,5	900, 1100, 1250	5,6	73,2
1,5	900, 1100	6,0	75,0
2,0	900, 1100, 1250, 1600	6,0	55,6
2,5	900, 1100, 1250, 1600	6,0	66,7
3,5	900, 1100, 1250, 1600	6,0	41,7

Порівнявши табл. 2.9 і 2.11 дійдемо висновку, що сучасні стани з  $L_{\text{р}} \geq 2000$  мм мають більш широкий сортамент по товщині як в сторону менших (0,4 і 0,5 мм), так і в сторону більших товщин (2,0 і 3,5 мм). Пояснюється це тим, що БШПС 2000 в порівнянні зі станами 1700 мають головне механічне обладнання більшої міцності і жорсткості, більш потужні електродвигуни, більші швидкості прокатки і обладнані системами автоматичного контролю, регулювання і управління. На БШПС 1680 холодної прокатки заводу "Запоріжсталь" режими обтисків аналогічні до стану 1700 (див. табл. 2.9). Докладно режими обтисків на БШПС 1680, реверсивних станах 1680 і 1200 викладені і проаналізовані в [7]. Також в [7] наведені режими обтисків на 5-ти

квітньому стані 1200 для прокатки жерсті, на 4-х квітньому стані 2020 фірми «Зольцітгер» (Німеччина) і режими прокатки нержавіючих сталей, які для прикладу наведені в табл. 2.12.

Таблиця 2.12 – Режими обтисків під час холодної прокатки нержавіючих сталей на реверсивному стані 1680 заводу «Запоріжсталь» (ширина штаби - 1030 мм; допустима сила прокатки  $[P] = 18 \text{ МН}$ )

Товщина а $h_{\text{вк}} - h_{\text{ок}}$	№№ проходу	Товщина штаби, мм		Обтиск при прокатуванні				
		До проходу $h_0, \text{мм}$	Після проходу $h_1, \text{мм}$	За прохід		сумарний		
				$\Delta h$ мм	$\epsilon$ %	$\Delta h_{\Sigma}$ мм	$\epsilon_{\Sigma}$ %	
3,8-1,5	Сталі 2Х18Н9, 12Х18Н10Т, Х18Н12Т*							
	1	3,80	3,40	0,40	10,5			
	2	3,40	2,90	0,50	14,7			
	3	2,90	2,48	0,42	14,4			
	4	2,48	2,13	0,35	14,0			
	5	2,13	1,85	0,28	13,1			
	6	1,85	1,65	0,20	10,8			
3,8-0,8	7	1,65	1,50	0,15	9,1	2,3	60,0	
	1	3,80	3,40	0,40	10,5			
	2	3,40	2,90	0,50	14,7			
	3	2,90	2,50	0,40	13,9			
	4	2,50	2,15	0,35	13,9			
	5	2,15	1,85	0,30	13,9			
	6	1,85	1,63	0,22	11,9			
	7	1,63	1,45	0,18	11,1			
	8	1,45	1,13	0,15	10,3			
	9	1,13	1,17	0,13	10,0			
	10	1,17	1,06	0,11	9,4			
	11	1,06	0,96	0,10	9,4			
	12	0,96	0,87	0,09	9,3			
13	0,87	0,80	0,07	8,1	3,0	78,9		
3,8-0,8	Сталь 12Х14АГ15**							
	1	3,80	3,40	0,40	10,5			
	2	3,40	2,90	0,50	14,7			
	3	2,90	2,40	0,50	17,2			
	4	2,40	2,10	0,30	12,5			
	5	2,10	1,80	0,30	14,4			
	6	1,80	1,60	0,21	11,1			
	7	1,60	1,40	0,20	12,5			
8	1,40	1,25	0,15	10,7				

	9	1,25	1,12	0,13	10,4		
	10	1,13	1,03	0,10	8,9		
	11	1,03	0,93	0,10	9,7		
	12	0,93	0,85	0,08	8,6		
	13	0,85	0,80	0,05	5,9	3,0	78,9

\* - експериментальні значення сили прокатки  $P=10,00 \dots 12,5$  МН;

\*\* - експериментальні значення сили прокатки  $P=12,5 \dots 14,0$  МН.

На 20-ти валкових реверсивних станах (табл. 2.13) кількість проходів значно менше, чим на 4-х валкових станах при більших початковій товщині і ширині гарячекатаної штаби.

Таблиця 2.13 – Режим обтисків в процесі холодної прокатки штаб нержавіючих (хромонікелевих) сталей шириною 1270 мм на 20-ти валкових станах 1550 (Німеччина) і 1700 («Запоріжсталь» - Україна)

Товщина $H_{гк} - H_{вк}$ мм	№№ проходу	Товщина до і після проходу, мм		Обтиск			
		$h_0$	$h_1$	За прохід		Сумарний	
				$\Delta h$ мм	$\varepsilon$ %	$\Delta h_{\Sigma}$ мм	$\varepsilon_{\Sigma}$ %
4,0-0,80	1	4,00	3,20	0,80	20,0		
	2	3,20	2,60	0,60	19,0		
	3	2,60	2,10	0,50	19,0		
	4	2,10	1,76	0,34	16,0		
	5	1,76	1,48	0,28	16,0		
	6	1,48	1,26	0,22	15,0		
	7	1,26	1,06	0,20	16,0		
	8	1,06	0,90	0,16	15,0		
	9	0,90	0,80	0,10	11,0	2,20	80,0

Жерсть прокатують на 5-ти і 6-ти клітьових безперервних станах. Режим обтисків розраховують із сумарного відносного обтиску, який мусить бути 85...90%, щоби повністю викатувались дефекти поверхні гарячекатаної штаби, що видно із табл. 2.14.

Мас місце і дещо інша технологія холодної прокатки жерсті, коли процес поділяється на дві стадії:

1. Холодна прокатка проміжного підкату, наприклад на реверсивному одноклітьовому стані 1200 (табл. 2.20).

2. Холодна прокатка підкату на жерсть на 4-х клітьових безперервних станах 650 або 450 (табл. 2.16).

Означена технологія хоча і дещо застаріла, використовується на заводі "Запоріжсталь".



Таблиця 2.14 – Режим обтисків під час холодної прокатки жерсті на безперервних станах 1200 і 1400

Товщина $h_{тк} - h_{ок}$ мм	№№ кліті	Товщина до і після кліті, мм		Обтиск			
				За прохід		Сумарний	
		$h_0$	$h_1$	$\Delta h$ , мм	$\epsilon$ , %	$\Delta h_{\Sigma}$ , мм	$\epsilon_{\Sigma}$ , %
2,20-0,25	1	2,20	1,95	0,25	11,4	0,25	11,4
	2	1,95	1,08	0,87	44,8	1,12	51,0
	3	1,08	0,67	0,41	39,0	1,53	70,0
	4	0,67	0,43	0,24	38,0	1,77	80,0
	5	0,43	0,25	0,18	42,0	1,95	88,0

Таблиця 2.15 – Режим обтисків під час холодної прокатки підкату для жерсті на реверсивному стані 1200 заводу «Запоріжсталь»

Товщина $h_{тк} - h_{ок}$ мм	№№ проходу	Товщина до і після проходу, мм		Обтиск			
				За прохід		Сумарний	
		$h_0$	$h_1$	$\Delta h$ мм	$\epsilon$ %	$\Delta h_{\Sigma}$ мм	$\epsilon_{\Sigma}$ %
2,0-0,50	1	Перемотка					
	2	2,00	1,30	0,70	35,0		
	3	1,30	0,90	0,40	30,7		
	4	0,90	0,65	0,25	27,8		
	5	0,65	0,50	0,15	23,0	1,50	75,0
2,3-0,60	1	Перемотка					
	2	2,30	1,50	0,80	34,0		
	3	1,50	1,00	0,50	33,3		
	4	1,00	0,72	0,28	28,0		
	5	0,72	0,60	0,12	16,6	1,70	73,0

Таблиця 2.16 – Режим обтисків під час холодної прокатки жерсті на безперервному 4-х клітьовому стані 650 заводу «Запоріжсталь»

№ кліті	Товщина, мм		Обтиск			
	До кліті $h_0$ , мм	Після кліті $h_1$ , мм	В кліті		Сумарний на стані	
			$\Delta h$ мм	$\epsilon$ %	$\Delta h_{\Sigma}$ мм	$\epsilon_{\Sigma}$ %
1	0,60	0,48	0,12	20,0		
2	0,48	0,38	0,10	21,0		
3	0,98	0,31	0,07	18,0		
4	0,31	0,27	0,04	13,0	0,33	55,0

В табл. 2.17 наведені опрацьовані автором дані по режимам прокатки жерсті на заводі «Запоріжсталь».

Таблиця 2.17 – Режими прокатки жерсті на заводі «Запоріжсталь»

$h_{\text{підкату}} - h_{\text{жерсті}}$ , мм	Ширина штаби, мм		Обтиск сумарний на стані	
	на стані 650	на стані 450	абсолютний $\Delta h$ , мм	відносний $\epsilon$ , %
0,50-0,22	430...520	300...370	0,28	56,0 (89,0)
0,60-0,25	--/--	--/--	0,35	58,3 (89,0)
0,60-0,28	--/--	--/--	0,32	53,3 (87,8)
0,60-0,32	--/--	--/--	0,28	46,7 (81,6)*

\*- в дужках - сумарний відносний обтиск за два холодних прокатування (із урахуванням таблиці 2.15).

Користуючись наведеними таблицями по аналогії складаються режими обтисків для холодної прокатки штаб на тому чи іншому стані. Складені режими обтисків перевіряють по кутам захоплення і визначають довжину осередку деформації з урахуванням пружного стиснення валків за формулою:

$$l_{\text{дл}} = x_1 + \sqrt{R_p \cdot \Delta h_i} \quad (10)$$

де  $R_p$  - радіус нового робочого валка (максимальний);

$x_1$  - приріст (збільшення) довжини дуги контакту металу з валками за рахунок пружного стиснення валків, мм.

Визначення  $x_1$  і  $l_{\text{дл}}$  за формулами Хічкока, Динника, Целікова і ін. доволі складне і виконується методом ітерації (поступових наближень). Достатню точність дає безітераційна формула В. Робертса [7]:

$$l_{\text{дл}} = \sqrt{R_p \cdot \Delta h} + 1,08 \sqrt{\frac{2R_p P_c}{E_b b}} \text{, мм} \quad (11)$$

де  $l_{\text{дл}}$  - довжина дуги контакту металу з валками (осередку деформації) з урахуванням пружної стислості валків, мм;

$R_p$  - радіус нового робочого валка, мм;

$\Delta h$  - абсолютний обтиск, мм;

$E = 21,6 \cdot 10^4 \text{ Н/мм}^2 (\text{МН/м}^2)$  - модуль пружності сталейних валків;

$b$  - ширина штаби, мм;

$P_c$  - сила прокатки (Н, МН) на стиснених валках.

Підставивши значення  $E$  в (11), отримаємо для прокатки в сталейних валках :

$$l_{\text{дл}} = \sqrt{R_p \cdot \Delta h} + 1,08 \sqrt{\frac{2R_p P_c}{21,6 \cdot 10^4 b}} = \sqrt{R_p \cdot \Delta h} + 1,08 \sqrt{\frac{R_p P_c}{b}}$$

або в кінцевому вигляді:

$$l_{\text{дл}} = \sqrt{R_p \cdot \Delta h} + 0,00328 \sqrt{\frac{R_p P_c}{b}} \quad (12)$$

Приймаючи  $P_c = [P]_{\text{min}}$ , визначають з достатньою точністю  $l_{gc}$  безітераційним методом.

### 2.5.6 Методика розрахунку енергосилових параметрів

Визначення допустимих зусиль і моментів прокатки:

допускові зусилля по міцності бочки і шийки опорних валків

$$[P]_b = \frac{0,8 \cdot D_{\text{оп. min}}^3 \cdot [\sigma]}{2a - l_{\text{оп. min}}} \quad [P]_{\text{ш}} = \frac{0,4 \cdot d_{\text{ш. on}}^3 \cdot [\sigma]}{l_{\text{ш. on}}} \quad [P]_{\text{ш. p}} = \frac{0,4 \cdot d_{\text{ш}}^3 \cdot [\tau]}{\sqrt{R_p \Delta h}}$$

Визначення температури розкату:

$$T_i = \frac{1000}{\sqrt{\frac{1000}{\left(\frac{T_{i-1}}{100}\right)^3} + 0,056 \frac{\tau}{h_{i-1}}}},$$

де  $\tau$  – час випромінювання:  $\tau = \tau_M + \tau_{\text{п}}$

де  $\tau_M$  – час машинне

$\tau_{\text{п}}$  – час транспортування

$$\tau_{\text{п}} = \frac{L_p - l_n}{V_p},$$

де  $L_p$  – довжина рольганга перед даною кліттю

$V_p$  – швидкість рольганга

$h_{i-1}$  – товщина розкату перед кліттю

машинний час при прокатці

$$\tau_M = \frac{l_n}{V_i},$$

де  $l_n$  – довжина розкату після прокатки в даній клітці

$V_i$  – швидкість прокатки в даній клітці

Розрахунок середнього контактного тиску прокатки.

При прокатці в чорнових клітках використовують формулу М.Я.Бровмана:

$$\text{при } 0,5 \leq l_d / h_{\text{cp}} \leq 2,0 \quad P_{\text{cp}} = \frac{1,15 \sigma_T}{2} \left( \frac{l_d}{h_{\text{cp}}} + \frac{h_{\text{cp}}}{l_d} \right) \quad (12)$$

$$\text{при } l_d / h_{\text{cp}} \geq 2,0 \quad P_{\text{cp}} = 1,15 \cdot \sigma_T \left( 0,75 + 0,25 \frac{l_d}{h_{\text{cp}}} \right) \quad (13)$$

Напруга текучості з використанням термомеханічних коефіцієнтів:

$$\sigma_T = \sigma_{\text{то}} k_1 k_r k_u, \quad (14)$$

де  $\sigma_{\text{то}}$  – базисне значення напруги текучості, яке у залежності від марки сталі визначається за довідником;

$k_1, k_r, k_u$  – термомеханічні коефіцієнти, які ураховують вплив

температури, ступеня деформації і швидкості деформації на величину напруги текучості.

При прокатці в чистової групі клітей середній контактний тиск визначається по формулі О.І. Целікова:

$$P_{cp} = 1,15 \sigma_u \frac{2h_1}{\Delta h(\delta-1)} \cdot \left(\frac{h_u}{h_1}\right) \cdot \left[\left(\frac{h}{h_1}\right)^\delta - 1\right] \quad (15)$$

Сила прокатки

$$P = P_{cp} \cdot l_n \cdot b$$

Розрахунок крутячих моментів

$$M_{дв} = M_{деф} + M_{тр} + M_{хх} + M_{дин}, \quad (16)$$

де  $M_{тр}$  – момент приведений к валу двигуна

$$M_{тр} = \frac{2P\mu l_n}{i} \quad (17)$$

$M_{тр}$  – приведені моменти сил тертя в підшипниках

для кліті дуо

$$M_{тр1} = \frac{P d_m \mu}{i} \quad (18)$$

для кліті кварто

$$M_{тр1} = \frac{P d_m \mu}{i} \cdot \frac{D_p}{D_{ов}} \quad (19)$$

Приведений момент додаткових сил тертя у передатному механізмі

$$M_{тр2} = \left(\frac{1}{\eta_{\Sigma}} - 1\right) \cdot \frac{M_{пр} + M_{тр1}}{i} \quad (20)$$

Момент двигуна при прокатці в кліті кварто

$$M_{дв} = \frac{P}{i\eta_{\Sigma}} \left(2a + \mu d_{тр} \frac{D_p}{D_{ов}}\right) + M_{хх} \quad (21)$$

Розрахунок потужності двигуна:

Потужність, витрачена двигуном при прокатці

$$N_{дв} = \frac{M_{дв} \cdot n_{дв}}{\eta_{дв}} \cdot \frac{\pi}{30} \quad (22)$$

де  $M_{дв}$  – момент, який розвиває двигун;

$n_{дв}$  – швидкість обертання якоря, об/хв;

$\eta$  – к.п.д. двигуна

Еквівалентна потужність двигуна

$$N_{екв} = \sqrt{\frac{N_{дв}^2 \tau_v + N_{хх}^2 \tau_u}{\tau_u + \tau_v}} \quad (23)$$

Постійними являються параметри устаткування стану та цеха, частина технологічних і теплофізичних параметрів:

1) Параметри цеху (довжина деяких вузлів): для доставки металу від методичних печей до кліті дуо і переміщення його між клітими використовують рольганги [7]. Розміри їх: рольганг північний нижній – 69, 75 м, рольганг перед кліттю дуо – 4,5 м, рольганг перед кліттю №1 – 3,9 м, рольганг перед кліттю №2 – 14,61 м, рольганг перед кліттю №3 – 12,42 м, рольганг перед кліттю №4 – 19,52 м, рольганг проміжний – 50,02 м, рольганг за кліттю №10 (до згортаючої машини №1) – 104,9 м, рольганг за згортаючої машинами №1, 2, 3 (до моталки

№1) – 94,52 м, рольганг перед моталкой №1 – 12,9 м, рольганг перед моталкой №2, 3 – 2х6,2 м, рольганг за моталкой №3 – 4,38 м.

Вимоги до раціонального режиму обтиску в чорновій групі клітей:

а) Сумарний обтиск в чорновій групі повинен бути максимальним з ціллю використання пластичних властивостей металу.

б) Зусилля і моменти при прокатці, потужність, що розвивається двигунами, не повинні перевищувати допустимих.

в) З ціллю спрощення перестройки чистових клітей діапазон товщин розкату після чорнової групи для усього сортаменту стану повинен бути мінімальним.

В чорнову групу входять: одна двовалкова кліть (окалиноломач), 4 кліті кварто (№ 1-4) і 3-4 вертикальні кліті (№ 1в-3в) розташовані перед клітьями кварто № 2-4. Відстань між клітьями чорнової групи:

дуо - кліть № 1 → 6,2 м; № 1 - № 2 → 21,25 м; № 2 - № 3 → 19,1 м; № 3 - № 4 → 25,6 м. Відстань між чорною і чистою групою – 53,25 м.

### 3 ПРИКЛАД РОЗРОБКИ РЕЖИМУ ВИРОБНИЦТВА ГАРЯЧЕКАТАНОЇ ШТАБИ 2X1250 мм

#### 3.1 Розробка режиму виробництві штаби 2x1250 мм в чорновій групі

Приймасмо, що у чорновій групі виробляється  $\approx 85\%$  сумарного обтиснення.

При заданих умовах сумарне обтиснення складає

$$\sum \Delta h = 140 - 2 = 138 \text{ мм}$$

Сумарне обтиснення в чорновій групі

$$\Delta h_{\Sigma \text{чорн}} = 140 - 20 = 120 \text{ мм}$$

По клітям чорнової групи обтиснення розподіляються наступним чином, таблиця 3.1:

Таблиця 3.1 – Розподіл обтиснень в чорновій групі

Номер кліті	ДУО	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4
$\epsilon, \%$	20	32	37	37	34

Визначаємо геометричні параметри процесу прокатки.

Для кліті ДУО:

абсолютне обтиснення

$$\Delta h_{\text{ДУО}} = \frac{h_0 \epsilon}{100} = \frac{140 \cdot 20}{100} = 28 \text{ мм};$$

товщина після кліті

$$h_{\text{ДУО}} = h_0 - \Delta h_{\text{ДУО}} = 140 - 28 = 112 \text{ мм};$$

кут захвату

$$\alpha_{\text{ДУО}} = \arccos \left( 1 - \frac{\Delta h}{D_{\text{р.мін}}} \right) = \arccos \left( 1 - \frac{28}{810} \right) = 15,12^\circ \quad \alpha_{\text{ДУО}} = 0,264 \text{ рад}$$

$$\alpha_1 := \arccos \left( 1 - \frac{\Delta h_1}{D_1} \right) \cdot 57,3 \quad \alpha_1 = 0,286 \text{ рад}$$

$$\alpha_2 := \arccos \left( 1 - \frac{\Delta h_2}{D_2} \right) \cdot 57,3 \quad \alpha_2 = 0,27 \text{ рад}$$

$$\alpha_3 := \arccos \left( 1 - \frac{\Delta h_3}{D_3} \right) \cdot 57,3 \quad \alpha_3 = 0,25 \text{ рад}$$

$$\alpha_4 := \arccos \left( 1 - \frac{\Delta h_4}{D_4} \right) \cdot 57,3 \quad \alpha_4 = 0,188 \text{ рад}$$

довжина дуги захвату

$$L_{d0} = \sqrt{R_p \Delta h_{\text{ДУО}}} = \sqrt{405 \cdot 28} = 106,5 \text{ мм}$$

$$l_{d1} := \sqrt{R_1 \cdot \Delta h_1} \quad l_{d1} = 125,6$$

$$l_{d2} := \sqrt{R_2 \cdot \Delta h_2} \quad l_{d2} = 104,9$$

$$l_{d3} := \sqrt{R_3 \cdot \Delta h_3} \quad l_{d3} = 71,8$$

$$l_{d4} = \sqrt{R_4 \cdot \Delta h_4} \quad l_{d4} = 54,6$$

Данні результатів заносимо в таблицю 3.2

Таблиця 3.2 – Геометричні параметри процесу прокатки в чорновій групі

№ кліті	$\Delta h$ , мм	h, мм	$\Lambda$	$L_{д}$ , мм
ДУО	28	112	0,264	106,5
1	35,8	76,2	0,286	125,6
2	28,2	48,0	0,27	104,9
3	17,76	30,24	0,25	71,8
4	10,28	19,96	0,188	54,6

### 3.2 Розрахунок енергосилових, кінематичних, температурних параметрів прокатки

#### 3.2.1 Допустимі сили по міцності бочки і шийки опірних валків

$$\text{Кліть 1} \quad [P]_б = \frac{0,8 \cdot D_{он, min}^3 \cdot [\sigma]}{2a - L_{он, min}} = \frac{0,8 \cdot 1245^3 \cdot 120}{2 \cdot 5060 - 2440} = 24 \text{ МН}$$

$$[P]_{ш} = \frac{0,4 \cdot d_{ш, on}^3 \cdot [\sigma]}{l_{ш, on}} = \frac{0,4 \cdot 750^3 \cdot 120}{1310} = 16 \text{ МН}$$

$$[P]_{ш,р.1} = \frac{0,4 \cdot d_{ш}^3 \cdot [\tau]}{\sqrt{R_p \Delta h}} = \frac{0,4 \cdot 660^3 \cdot 80}{\sqrt{440 \cdot 35,8}} = 73 \text{ МН}$$

$$\text{Кліть 2} \quad [P]_б = \frac{0,8 \cdot D_{он, min}^3 \cdot [\sigma]}{2a - L_{он, min}} = 22 \text{ МН}$$

$$[P]_{ш} = \frac{0,4 \cdot d_{ш, on}^3 \cdot [\sigma]}{l_{ш, on}} = 9,98 \text{ МН}$$

$$\text{Кліть 3} \quad [P]_б = \frac{0,8 \cdot D_{он, min}^3 \cdot [\sigma]}{2a - L_{он, min}} = 22 \text{ МН}$$

$$[P]_{ш} = \frac{0,4 \cdot d_{ш, on}^3 \cdot [\sigma]}{l_{ш, on}} = 9,98 \text{ МН}$$

$$\text{Кліть 4} \quad [P]_б = \frac{0,8 \cdot D_{он, min}^3 \cdot [\sigma]}{2a - L_{он, min}} = 22 \text{ МН}$$

$$[P]_{ш} = \frac{0,4 \cdot d_{ш, on}^3 \cdot [\sigma]}{l_{ш, on}} = 9,398 \text{ МН}$$

Данні результатів заносимо в таблицю 3.3.

Таблиця 3.3 – Результати розрахунку допустимих сил по міцності бочки і шийки опірних валків

№ кліті	$[P]_б$ , МН	$[P]_{ш}$ , МН	$[P]_{ш,р.1}$ , МН
ДУО	—	—	71
1	24	16	73
2	22	9,98	34
3	22	9,98	28
4	22	9,398	36

### 3.2.2 Розрахунок температури розкату

Визначасмо машинний час

$$\text{ДУО } \tau_m = \frac{l_{\text{дуо}}}{V_{\text{дуо}}} = \frac{11,0}{0,95} = 11,6 \text{ с}$$

$$\text{Кліть 1 } \tau_m = \frac{l_1}{V_1} = 15,4 \text{ с}$$

$$\text{Кліть 2 } \tau_m = \frac{l_2}{V_2} = 23,3 \text{ с}$$

$$\text{Кліть 3 } \tau_m = \frac{l_3}{V_3} = 27,1 \text{ с}$$

$$\text{Кліть 4 } \tau_m = \frac{l_4}{V_4} = 30,8 \text{ с}$$

Визначасмо час транспортування

$$\text{ДУО } \tau_{\text{пр.}} = \frac{L_{\text{дуо}} - l_{\text{дуо}}}{V_{\text{дуо}}} = \frac{74,25 - 11,0}{2} = 31,62 \text{ с}$$

$$\text{Кліть 1 } \tau_{\text{пр.}} = \frac{L_1 - l_1}{V_1} = 8,76 \text{ с}$$

$$\text{Кліть 2 } \tau_{\text{пр.}} = \frac{L_2 - l_2}{V_2} = 7,85 \text{ с}$$

$$\text{Кліть 3 } \tau_{\text{пр.}} = \frac{L_3 - l_3}{V_3} = 14,15 \text{ с}$$

$$\text{Кліть 4 } \tau_{\text{пр.}} = \frac{L_4 - l_4}{V_4} = 32,3 \text{ с}$$

Таблиця 3.4 – Швидкість ролгангів між клітьями[2]

Кліті	дуо – №1	№1 – №2	№2 – №3	№3 – №4
$V_{\text{рл}}$ , м/с	1,4	1,4	2,0	<b>1,4</b>

Температура розкату при прокатці

$$\text{ДУО } T_{\text{дуо}} = \frac{1000}{\sqrt[3]{\left(\frac{T_0}{100}\right)^3 + 0,056 \frac{\tau_{\text{мо}}}{h_0}}} = \frac{1000}{\sqrt[3]{\left(\frac{1513}{100}\right)^3 + 0,056 \frac{43,22}{140}}} = 1484 \text{ К}$$

$$\text{Кліть 1 } T_1 = \frac{1000}{\sqrt[3]{\left(\frac{T_{\text{дуо}}}{100}\right)^3 + 0,056 \frac{\tau_1}{h_{\text{дуо}}}}} = 1465 \text{ К}$$

$$\text{Кліть 2 } T_2 = \frac{1000}{\sqrt[3]{\left(\frac{T_1}{100}\right)^3 + 0,056 \frac{\tau_2}{h_1}}} = 1431 \text{ К}$$



$$\text{Кліть 3 } T_3 = \frac{1000}{\sqrt[3]{\left(\frac{T_2}{100}\right)^3 + 0,056 \frac{r_3}{h_2}}} = 11369 \text{ К}$$

$$\text{Кліть 4 } T_4 = \frac{1000}{\sqrt[3]{\left(\frac{T_3}{100}\right)^3 + 0,056 \frac{r_4}{h_3}}} = 1254 \text{ К}$$

Данні результатів заносимо в таблицю 3.5.

Таблиця 3.5 – Результати розрахунку температури розкату, машинного часу та часу транспортування

№ кліті	$\tau_{\text{ст}}, \text{с}$	$\tau_{\text{тр}}, \text{с}$	$l_{\text{р}}, \text{м}$	$T_{\text{р}}, \text{К}$
ДУО	11,6	31,62	11,0	1484
1	15,4	8,76	16,17	1465
2	23,3	7,85	25,6	1431
3	27,1	14,15	40,7	1369
4	30,8	32,3	61,7	1254

### 3.2.3 Розрахунок сили прокатки

Середнє контактне тиснення у клітях чорнової групи розраховуємо по формулі М.Я. Бровмана:

Напряга текучості з використанням термомеханічних коефіцієнтів:

$$\sigma_{\text{T}} = \sigma_{\text{Т0}} k_1 k_e k_n$$

$$\sigma_{\text{T0}} = 84 \text{ МПа}$$

$$k_{\epsilon, \text{дуо}} = 0,82 + 0,82 \sqrt{\frac{\Delta h_{\text{дуо}}}{h_0}} = 0,82 + 0,82 \cdot \sqrt{\frac{28}{140}} = 0,984$$

$$U_{\text{ср, дуо}} = \frac{V_{\text{дуо}} \cdot h_{\text{дуо}}}{h_0 \cdot l_{\text{дуо}}} = \frac{1,042 \cdot 28}{140 \cdot 106,5} \cdot 1030 = 2,01 \text{ с}^{-1}$$

$$k_{U, \text{дуо}} = 0,8 + 0,065 \sqrt{U_{\text{дуо}}} = 0,8 + 0,065 \cdot \sqrt{2,01} = 0,89$$

$$k_{t, \text{дуо}} = 0,57 + 0,0045(1200 - t_{\text{дуо}}^{\circ}) \sqrt{\frac{1200 - t_{\text{дуо}}^{\circ}}{t_{\text{дуо}}^{\circ}}} = 0,57 + 0,0045(1200 - 1211) \sqrt{\frac{1200 - 1211}{1211}} = 0,574$$

$$\sigma_{\text{T, дуо}} = \sigma_{\text{T0}} k_{t, \text{дуо}} k_{\epsilon, \text{дуо}} k_{U, \text{дуо}} = 84 \cdot 0,574 \cdot 0,984 \cdot 0,89 = 42,2 \text{ МПа}$$

Середнє контактне тиснення

$$\text{ДУО } p_{\text{ср}} = \frac{1,15 \cdot \sigma_{\text{T}}}{2} \left( 0,815 + \frac{1}{0,815} \right) = \frac{1,15 \cdot 42,2}{2} \left( 0,815 + \frac{1}{0,815} \right) = 49,5 \text{ МПа}$$

$$\text{Кліть 1 } p_{\text{ср}} = \frac{1,15 \cdot \sigma_{\text{T}}}{2} \left( 0,815 + \frac{1}{0,815} \right) = 55,2 \text{ МПа}$$

$$\text{Кліть 2 } p_{\text{ср}} = \frac{1,15 \cdot \sigma_{\text{T}}}{2} \left( 0,815 + \frac{1}{0,815} \right) = 61,7 \text{ МПа}$$

$$\text{Кліть 3 } P_{cp} = \frac{1,15 \cdot \sigma_T}{2} \left( 0,815 + \frac{1}{0,815} \right) = 77,8 \text{ МПа}$$

$$\text{Кліть 4 } P_{cp} = \frac{1,15 \cdot \sigma_T}{2} \left( 0,815 + \frac{1}{0,815} \right) = 118,2 \text{ МПа}$$

Сила прокатки

$$\text{ДУО } P_{до} = P_{cp,до} \cdot l_{до} \cdot b = 49,5 \cdot 0,1065 \cdot 1,25 = 6,59 \text{ МН}$$

$$\text{Кліть 1 } P_1 = P_{cp,1} \cdot l_{до,1} \cdot b = 8,66 \text{ МН}$$

$$\text{Кліть 2 } P_2 = P_{cp,2} \cdot l_{до,2} \cdot b = 8,09 \text{ МН}$$

$$\text{Кліть 3 } P_3 = P_{cp,3} \cdot l_{до,3} \cdot b = 6,98 \text{ МН}$$

$$\text{Кліть 4 } P_4 = P_{cp,4} \cdot l_{до,4} \cdot b = 8,07 \text{ МН}$$

Данні результатів заносимо в таблицю 3.6.

### 3.2.4 Розрахунок потужності та крутячих моментів

$$M_{дв} = \frac{P}{i \eta_{\Sigma}} (2a + \mu d_{ш})$$

$$\psi_{до} = 0,498 - 0,0283 \frac{l_{д,до}}{h_{cp,до}} = 0,498 - 0,0283 \cdot 0,845 = 0,474$$

$$a_{до} = \psi_{до} \cdot l_{д,до} = 0,474 \cdot 106,5 = 50,5 \text{ мм}$$

$$\text{ДУО } M_{xx,до} = 0,06 \cdot 32 = 1,92 \text{ кН} \cdot \text{м} = 0,192 \text{ Т} \cdot \text{м}$$

$$\text{Кліть 1 } M_{xx,1} = 7,2 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

$$\text{Кліть 2 } M_{xx,2} = 4,2 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

$$\text{Кліть 3 } M_{xx,3} = 4,2 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

$$\text{Кліть 4 } M_{xx,4} = 4,2 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

$$\text{ДУО } M_{до,до} = \frac{723}{23,99 \cdot 0,82} \cdot (2 \cdot 0,0505 + 0,002) + 0,192 = 36 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

$$\text{Кліть 1 } M_{до,1} = 81,7 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

$$\text{Кліть 2 } M_{до,2} = 52,1 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

$$\text{Кліть 3 } M_{до,3} = 57,7 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

$$\text{Кліть 4 } M_{до,4} = 68,1 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

Данні результатів заносимо в підсумкову таблицю 3.6.

Розрахунок потужності двигуна:

Потужність, витрачена двигуном при прокатці

$$\text{ДУО } N_{дв,до} = \frac{M_{дв,до} \cdot n_{дв,до}}{\eta_{дв,до}} \cdot \frac{\pi}{30} = \frac{36 \cdot 500}{0,952} \cdot \frac{3,14}{30} = 1979 \text{ кВт}$$

$$\text{Кліть 1 } N_{до,1} = \frac{M_{до,1} \cdot n_{до,1}}{\eta_{до,1}} \cdot \frac{\pi}{30} = 1890 \text{ кВт}$$

$$\text{Кліть 2 } N_{до,2} = \frac{M_{до,2} \cdot n_{до,2}}{\eta_{до,2}} \cdot \frac{\pi}{30} = 1456 \text{ кВт}$$

$$\text{Кліть 3 } N_{до,3} = \frac{M_{до,3} \cdot n_{до,3}}{\eta_{до,3}} \cdot \frac{\pi}{30} = 1935 \text{ кВт}$$

Таблиця 3.8 – Результати розрахунку швидкості прокатки та окружної швидкості валків

№ кліті	V, м/с	V <sub>в</sub> , м/с
5	1,6	1,4
6	2,6	2,4
7	4,0	3,7
8	5,6	5,3
9	7,4	7,1
10	8,5	8,3

Розрахунок температурного режиму прокатки

Температура розкату після окалиноломаччя також розраховується за формулою:

$$T_{ок} = \frac{1000}{\sqrt[3]{\left(\frac{T_d}{100}\right)^3 + 0,056 \frac{\tau_{ок} + \tau_{пр}}{h_d}}} = \frac{1000}{\sqrt[3]{\left(\frac{1423}{100}\right)^3 + 0,056 \frac{72,2 + 3,38}{19,96}}} = 1213K$$

$$l_{ок} = \frac{h_{ок}}{h_{ок}} l_{ок} = \frac{140}{18,96} \cdot 8800 = 65M$$

$$\tau_{ок,ок} = \frac{l_{ок}}{V_{ок}} = \frac{65}{0,9} = 72,2c$$

$$\tau_{пр} = \frac{L_p - l_d}{V_p} = \frac{53,25 - 61,7}{2,5} = 3,8c$$

$$\text{Кліть 5 } T_5 = \frac{1000}{\sqrt[3]{\left(\frac{T_{ок}}{100}\right)^3 + 0,056 \frac{\tau_{ок} + \tau_{пр}}{h_{ок}}}} = 1205K$$

$$\text{Кліть 6 } T_6 = \frac{1000}{\sqrt[3]{\left(\frac{T_5}{100}\right)^3 + 0,056 \frac{\tau_{ок} + \tau_{пр}}{h_5}}} = 1192K$$

$$\text{Кліть 7 } T_7 = \frac{1000}{\sqrt[3]{\left(\frac{T_6}{100}\right)^3 + 0,056 \frac{\tau_{ок} + \tau_{пр}}{h_6}}} = 1175K$$

$$\text{Кліть 8 } T_8 = \frac{1000}{\sqrt[3]{\left(\frac{T_7}{100}\right)^3 + 0,056 \frac{\tau_{ок} + \tau_{пр}}{h_7}}} = 1156K$$

$$\text{Кліть 9 } T_9 = \frac{1000}{\sqrt[3]{\frac{1000}{\left(\frac{T_8}{100}\right)^3} + 0,056 \frac{\tau_{\text{ст}} + \tau_{\text{мп}}}{h_8}}} = 1136 \text{ К}$$

$$\text{Кліть 10 } T_{10} = \frac{1000}{\sqrt[3]{\frac{1000}{\left(\frac{T_9}{100}\right)^3} + 0,056 \frac{\tau_{\text{ст}} + \tau_{\text{мп}}}{h_9}}} = 1123 \text{ К}$$

Данні результатів заносимо в таблицю 3.9.

### 3.4.2 Розрахунок силових параметрів прокатки

Середнє контактне тиснення при прокатці в чистовій групі клітей визначаємо по формулі О.І. Целікова

$$P_{\text{сп}} = 1,15 \sigma_u \frac{2h}{\Delta h (\delta - 1)} \cdot \left( \frac{h_n}{h_1} \right) \cdot \left[ \left( \frac{h_u}{h_1} \right)^\delta - 1 \right]$$

$$\sigma_{\text{ТО}} = 84 \text{ МПа}$$

$$k_{1,5} = 0,57 + 0,0045(1200 - t_3^0) \sqrt{\frac{1200 - t_3^0}{t_3^0}} = 0,57 + 0,0045(1200 - 932) \sqrt{\frac{1200 - 932}{932}} = 1,216$$

$$\frac{\Delta h_3}{h_{\text{ок}}} = \frac{8,16}{18,96} = 0,43$$

$$k_{z,5} = 0,82 + 0,82 \sqrt{\frac{\Delta h_3}{h_{\text{ок}}}} = 0,82 + 0,82 \cdot \sqrt{0,43} = 1,36$$

$$U_{\text{сп},5} = \frac{V_5 \cdot h_5}{h_{\text{ок}} \cdot l_{\text{н},5}} = \frac{1,6 \cdot 8,15}{18,96 \cdot 48,64} \cdot 1030 = 14,6 \text{ с}^{-1}$$

$$k_{U,5} = 0,8 + 0,065 \sqrt{U_5} = 0,8 + 0,065 \cdot \sqrt{14,6} = 1,05$$

$$\sigma_{T,5} = \sigma_{\text{ТО}} k_{1,5} k_{z,5} k_{U,5} = 84 \cdot 1,36 \cdot 1,05 \cdot 1,216 = 145,8 \text{ МПа}$$

$$f_{y,3} = k_1 \cdot k_2 \cdot f_0 = 1 \cdot 0,7 \cdot 0,4 = 0,28$$

$$V_{\text{ек}} = V_n \frac{\Delta h_3}{3 \cdot h_3} = 1,4 \cdot \frac{8,15}{3 \cdot 10,8} = 0,35 \text{ м/с}$$

$$f_0 = 0,4$$

$$\delta = \frac{2f_y \cdot l_n}{\Delta h} = \frac{2 \cdot 0,28 \cdot 48,64}{8,16} = 3,34$$

$$\frac{h_n}{h_1} = \frac{1 + \sqrt{1 + (\delta^2 - 1) \left( \frac{h_0}{h_1} \right)^\delta}}{\delta + 1} = \frac{1 + \sqrt{1 + (3,34^2 - 1) \left( \frac{18,96}{10,8} \right)^{3,34}}}{3,34 + 1} = 1,25$$

Середнє контактне тиснення

$$\text{Кліть 5 } P_{\text{сп},5} = 1,15 \cdot 145,8 \cdot \frac{2 \cdot 10,8}{8,16 \cdot (3,34 - 1)} \cdot 1,25 \cdot [1,25^{3,34} - 1] = 262 \text{ МПа}$$

$$\text{Кліть 6 } P_{\text{ср6}} = 329 \text{ МПа}$$

$$\text{Кліть 7 } P_{\text{ср7}} = 451 \text{ МПа}$$

$$\text{Кліть 8 } P_{\text{ср8}} = 500 \text{ МПа}$$

$$\text{Кліть 9 } P_{\text{ср9}} = 619 \text{ МПа}$$

$$\text{Кліть 10 } P_{\text{ср10}} = 589 \text{ МПа}$$

Сила прокатки

$$\text{Кліть 5 } P_5 = P_{\text{ср5}} \cdot l_{\text{н5}} \cdot b = 262 \cdot 48,64 \cdot 1,25 = 15,0 \text{ МН}$$

$$\text{Кліть 6 } P_6 = P_{\text{ср6}} \cdot l_{\text{н6}} \cdot b = 14,52 \text{ МН}$$

$$\text{Кліть 7 } P_7 = P_{\text{ср7}} \cdot l_{\text{н7}} \cdot b = 14,24 \text{ МН}$$

$$\text{Кліть 8 } P_8 = P_{\text{ср8}} \cdot l_{\text{н8}} \cdot b = 11,65 \text{ МН}$$

$$\text{Кліть 9 } P_9 = P_{\text{ср9}} \cdot l_{\text{н9}} \cdot b = 11,02 \text{ МН}$$

$$\text{Кліть 10 } P_{10} = P_{\text{ср10}} \cdot l_{\text{н10}} \cdot b = 6,87 \text{ МН}$$

Данні результатів заносимо в таблицю 3.9.

Розрахунок крутячих моментів

$$M_{\text{дв}} = \frac{P}{i \eta_{\Gamma}} \left( 2a + \mu d_{\text{тр}} \frac{D_p}{D_{\text{оп}}} \right) + M_{\text{хх}}$$

$$\mu d_{\text{тр}} \frac{D_p}{D_{\text{оп}}} = 0,00117$$

$$M_{\text{хх,дв}} = 0,06 \cdot M_{\text{ном}} = 0,06 \cdot 110 = 6,6 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

$$\psi_5 = 0,498 - 0,0283 \frac{l_{\text{н5}}}{h_{\text{ср5}}} = 0,498 - 0,0283 \cdot \frac{48,64}{14,88} = 0,4$$

$$a_5 = \psi_5 \cdot l_{\text{н5}} = 0,4 \cdot 48,64 = 19,45 \text{ мм}$$

$$\text{Кліть 5 } M_{\text{дв5}} = \frac{14350}{7,23 \cdot 0,865} \cdot (2 \cdot 0,01945 + 0,00117) + 6,6 = 100 \text{ кН} \cdot \text{м} = 10 \text{ т} \cdot \text{м}$$

$$\text{Кліть 6 } M_{\text{дв6}} = 99,8 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

$$\text{Кліть 7 } M_{\text{дв7}} = 117,6 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

$$\text{Кліть 8 } M_{\text{дв8}} = 105,2 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

$$\text{Кліть 9 } M_{\text{дв9}} = 98,6 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

$$\text{Кліть 10 } M_{\text{дв10}} = 55 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

Данні результатів заносимо в таблицю 3.9.

Розрахунок потужності двигуна:

Потужність, витрачена двигуном при прокатці

$$\eta_{\text{дв5-10}} = 0,938$$

$$n_{\text{дв}} = \frac{V_{\text{в}} \cdot 60}{\pi \cdot D_p} \cdot i = \frac{1,4 \cdot 60 \cdot 7,24}{3,14 \cdot 0,58} = 33406 / \text{хв}$$

$$N_{\text{хх5}} = 0,06 \cdot N_{\text{ном}} = 0,06 \cdot 5000 = 300 \text{ кВт}$$

$$\tau_{\text{м}} = 55 \text{ с}$$

$$\tau_{\text{т}} = 15 \text{ с}$$

$$\text{Кліть 5 } N_{\text{м.5}} = \frac{M_{\text{м.5}} \cdot \eta_{\text{м.5}}}{\eta_{\text{м.5}}} \cdot \frac{\pi}{30} = \frac{100 \cdot 334}{0,938} \cdot \frac{3,14}{30} = 3671 \text{кВт}$$

$$\text{Кліть 6 } N_{\text{дв.6}} = \frac{M_{\text{дв.6}} \cdot \eta_{\text{дв.6}}}{\eta_{\text{дв.6}}} \cdot \frac{\pi}{30} = 2060 \text{кВт}$$

$$\text{Кліть 7 } N_{\text{дв.7}} = \frac{M_{\text{дв.7}} \cdot \eta_{\text{дв.7}}}{\eta_{\text{дв.7}}} \cdot \frac{\pi}{30} = 2198 \text{кВт}$$

$$\text{Кліть 8 } N_{\text{дв.8}} = \frac{M_{\text{дв.8}} \cdot \eta_{\text{дв.8}}}{\eta_{\text{дв.8}}} \cdot \frac{\pi}{30} = 1984 \text{кВт}$$

$$\text{Кліть 9 } N_{\text{дв.9}} = \frac{M_{\text{дв.9}} \cdot \eta_{\text{дв.9}}}{\eta_{\text{дв.9}}} \cdot \frac{\pi}{30} = 2008 \text{кВт}$$

$$\text{Кліть 10 } N_{\text{дв.10}} = \frac{M_{\text{дв.10}} \cdot \eta_{\text{дв.10}}}{\eta_{\text{дв.10}}} \cdot \frac{\pi}{30} = 1181 \text{кВт}$$

$$\text{Кліть 5 } N_{\text{екв.5}} = \sqrt{\frac{N_{\text{м.5}}^2 \tau_v + N_{\text{кх.5}}^2 \tau_n}{\tau_m + \tau_n}} = \sqrt{\frac{3671^2 \cdot 55 + 300^2 \cdot 15}{70}} = 3256 \text{кВт}$$

$$\text{Кліть 6 } N_{\text{екв.6}} = \sqrt{\frac{N_{\text{дв.6}}^2 \tau_v + N_{\text{кх.6}}^2 \tau_n}{\tau_m + \tau_n}} = 1831 \text{кВт}$$

$$\text{Кліть 7 } N_{\text{екв.7}} = \sqrt{\frac{N_{\text{дв.7}}^2 \tau_v + N_{\text{кх.7}}^2 \tau_n}{\tau_m + \tau_n}} = 1953 \text{кВт}$$

$$\text{Кліть 8 } N_{\text{екв.8}} = \sqrt{\frac{N_{\text{дв.8}}^2 \tau_v + N_{\text{кх.8}}^2 \tau_n}{\tau_m + \tau_n}} = 1764 \text{кВт}$$

$$\text{Кліть 9 } N_{\text{екв.9}} = \sqrt{\frac{N_{\text{дв.9}}^2 \tau_v + N_{\text{кх.9}}^2 \tau_n}{\tau_m + \tau_n}} = 1785 \text{кВт}$$

$$\text{Кліть 10 } N_{\text{екв.10}} = \sqrt{\frac{N_{\text{дв.10}}^2 \tau_v + N_{\text{кх.10}}^2 \tau_n}{\tau_m + \tau_n}} = 1056 \text{кВт}$$

Данні результатів заносимо в таблицю 3.9.

Таблиця 3.9 – Результати розрахунку енергосилових параметрів, температури та потужності двигунів

№ кліті	t, °C	σ <sub>Г</sub> , МПа	ρ <sub>ср</sub> , МПа	P, МН	M <sub>дв</sub> , кН·м	η <sub>дв</sub> , об/хв	N <sub>дв</sub> , кВт	N <sub>екв</sub> , кВт
5	932	131,3	262	15	100	334	3671	3256
6	919	151,4	329	14,52	99,8	370	2060	1831
7	902	174,7	451	14,24	117,6	335	2198	1953
8	883	202,8	500	11,65	105,2	38	1984	1764
9	863	266,8	619	11,02	98,6	365	2008	1785
10	850	256,3	589	6,87	55	385	1181	1056

## РЕКОМЕНДОВАНИЙ СПИСОК ЛИТЕРАТУРНЫХ ДЖЕРЕЛ

1. Серета Б.П. Обробка металів тиском [навчальний посібник] / Серета Б.П. – Запоріжжя: Вид-во ЗДІА, 2009 – 293 с.
2. Серета Б.П. Прокатне виробництво [навчальний посібник] / Серета Б.П. – Запоріжжя: Вид-во ЗДІА, 2008 – 254 с.
3. Божков А. И. Плоскостность тонколистового проката / Божков А. И., Настич В. П. – М.: «СП. ИНТЕРМЕТ ИНЖИНИРИНГ», 1998. – 264 с.
4. Васильев Я. Д. Производство полосовой и листовой стали / Васильев Я. Д., Сафьян А. М. – К.: Вища школа, 1976. – 192 с.
5. Железнов Ю. Д. Прокатка ровных полос и листов / Железнов Ю. Д. – М.: Металлургия, 1971, – 200 с.
6. Комановский А. З. Листопрокатное производство (справочник) / Комановский А. З. – М.: Металлургия, 1979. – 280 с.
7. Расчет параметров листовой прокатки: справочник / Коновалов Ю. В., Остапенко А. Л. [и др.] – М.: Металлургия, 1986. – 430 с.
8. Управление качеством тонколистового проката / В.Л. Мазур, А.М. Сафьян, И.Ю. Приходько [и др.] – К.: Техника, 1997. – 384 с.
9. Робертс В. Холодная прокатка стали / Робертс В. – М.: Металлургия, 1982. – 544 с.
10. Рокотян С. Е. Теория прокатки и качество металла / Рокотян С. Е. – М.: Металлургия, 1981. – 224 с.
11. Теория прокатки: справочник / А.И. Целиков, А.Д. Томленов, В.И. Зюзин [и др.] – М.: Металлургия, 1982. – 335 с.
12. Профилирование валков листовых станов / А.А. Будакова, Ю.В. Коновалов, К.Н. Ткалич и др. – К.: Техніка, 1986. – 190 с.
13. Ткалич К.Н. Точная прокатка тонких полос / Ткалич К.Н., Коновалов Ю.В. – М.: Металлургия, 1972. – 175 с.
14. Прокатное производство / П. И. Полухин, Н. М. Федосов, А. А. Королев, Ю. М. Матвеев. – М.: Металлургия, 1988. – 668 с.
15. Технология прокатного производства : справочник / М. А. Беньковский, К. Н. Боговяленский, А. Н. Виткин [и др.]. – М.: Металлургия, 1991. – 423 с.
16. Королев А. А. Конструкция и расчет машин и механизмов прокатных станов / А. А. Королев. – М.: Металлургия, 1985. – 462 с.
17. Технология прокатного производства / В.М. Клименко, А.М. Онищенко, А.А. Минаев, В.С. Горелик. – К.: Вища школа, 1989. – 311 с.
18. Николаев В.А. Технология прокатки полос и листов. Учебное пособие. В 2-х частях. Часть I. / Николаев В.А. – Запорожье: ЗГИА, 2003. – 158 с.
19. Сторожев М.В. Теория обработки металлов давлением. / Сторожев М.В., Попов Е.А. – М.: Машиностроение, 1971. – 424 с.

Значення коефіцієнтів  $k_s$ ,  $k_c$ ,  $k_v$  для розрахунку моделей коефіцієнта тертя

Матеріал і стан поверхні валків	Значення коефіцієнтів $k_s$
Чавунні загартовані, шліфовані	0,9
Чавунні	1,0
Сталеві	1,1-1,2
Сталеві з насічкою, накаткою	1,3-1,6

Вміст вуглецю в сталі, %	Значення коефіцієнтів $k_c$	
	при захваті	при сталому процесі
0,05-0,2	1,0	1,3
0,2-0,3	0,9	1,2
0,3-0,5	0,8	1,1
0,5-0,8	0,75	1,0
0,8-1,2	0,7	0,9

Швидкість прокатки, м/с	Значення коефіцієнтів $k_v$
до 1,0	1,0
2,0	0,9
2,5	0,75
3,0	0,65
4,0	0,55
більше 5,0	0,5

Значення кінематичної в'язкості  $\nu_{50}$  і температури спалаху  $t_{сп}$  деяких мастил

Масло	Значення параметру	
	$\nu_{50}$ , мм <sup>2</sup> /с	$t_{сп}$ , °С
Мінеральні (нафтові) масла		
Трансформаторне ТК	9,6	135
Індустріальне І-20 (веретенне 3)	17-23	180
Ц-11 (циліндрове 2)	95	285
Ц-24 (віскозин)	230	240
Ц-52	550	310
П-28	257	285
Рослинні масла		
Бавовняне	22	310
Соняшникове	19-24	225
Пальмове	28-30	250
Касторове	110-150	240
Коріандрове	25-28	285



Значення  $\sigma_0$  деяких сталей і діапазони зміни параметрів  $\varepsilon$ ,  $u$ ,  $t$  що визначають область застосування моделі В.І. Зюзіна для розрахунку напруження текучості при гарячій прокатці

Марка сталі	$\sigma_0$ , Н/мм <sup>2</sup>	Діапазон зміни значень параметра		
		$\varepsilon$	$t$ , °C	$u$ , с <sup>-1</sup>
08кп	84	0,05-0,5	500-1200	0,05-300
08Ю	85	0,05-0,2	500-1100	1,0-100
20	85	0,05-0,5	900-1200	0,1-100
Ст. 3	86	0,05-0,5	900-1200	0,1-100
45	88	0,05-0,4	900-1200	0,1-100
Ст. 6	92	0,05-0,5	900-1200	0,1-100
У8	90	0,05-0,5	900-1200	0,1-100
40Х	92	0,05-0,5	900-1200	0,1-100
45ХН	95	0,05-0,5	900-1200	1,0-250
ПХ15	95	0,05-0,5	900-1200	0,1-100
15ХСНД	97	0,05-0,5	500-1200	0,1-100
12ХНМФА	108	0,1-0,5	800-1200	0,3-10
4Х13	109	0,05-0,4	900-1200	0,1-100
60С2	114	0,05-0,5	900-1200	0,1-100
Х17Н2	112	0,05-0,4	900-1200	0,1-100
Х18Н10Т	122	0,05-0,4	900-1200	0,1-100
15Х5М	123	0,1-0,4	900-1200	0,8-100
20Х5НГ2	124	0,1-0,5	800-1200	3,5-30
Х18Н12М2Т	147	0,05-0,5	900-1200	0,1-100
P18	159	0,05-0,5	900-1200	0,1-100

Значення  $\sigma_0$  і коефіцієнтів  $s$ ,  $a$ ,  $b$ ,  $c$  моделі Л.В. Андреюка, Г.Г. Тюленева  
для розрахунку напруження текучості при гарячій прокатці

Марка сталі	$\sigma_0$ , Н/мм <sup>2</sup>	Значення коефіцієнтів			
		$s$	$a$	$b$	$c$
Ст. 3кп	77,9	0,885	0,164	0,135	2,80
Ст. 3сп	90,7	0,96	0,167	0,214	2,54
Ст. 5сп	89,5	0,917	0,208	0,144	3,35
65ГРАМ	72,7	1,007	0,222	0,166	3,02
У7А	78,7	0,948	0,197	0,159	2,87
ШХ15	79,6	1,010	0,220	0,137	4,07
40Х	87,5	0,979	0,170	0,130	3,62
45	87,4	1,000	0,173	0,143	3,05
45ХН	88,5	0,935	0,234	0,134	3,47
30ХГСА	92,4	0,966	0,250	0,134	3,34
15ХСНД	93,2	0,880	0,226	0,122	2,90
38ХМЮА	100	1,016	0,273	0,114	3,72
60С2	105	0,921	0,197	0,153	3,46
15ХГСНГА	108	0,932	0,257	0,108	3,25
Х17Н2	126	0,866	0,063	0,130	4,72
2Х13	136	0,900	0,210	0,132	3,26
Х23Н18	211	0,848	0,105	0,093	3,18
Х12М	212	0,861	0,067	0,127	3,12
Х18Н10Т	222	0,825	0,088	0,112	4,35
P18	237	0,780	0,100	0,136	3,01

Значення  $\sigma_{Тисх}$  і коефіцієнтів  $m, m_1, k$  моделі А.В. Трет'якова для розрахунку напруження текучості при холодній прокатці

Марка сталі	Значення параметрів			
	$\sigma_{Тисх}, \text{Н/мм}^2$	$m, \text{Н/мм}^2$	$m_1$	$k$
Ст. 2	300	30,6	0,1020	0,62
08кп	230	34,6	0,1504	0,60
10	300	29,5	0,0983	0,64
20	375	31,6	0,0843	0,64
20А	350	64,5	0,1843	0,50
40	350	83,6	0,2389	0,48
50	400	100,0	0,25	0,47
85	500	147,0	0,294	0,43
09Г2	320	59,0	0,1844	0,46
12ГС	500	100,0	0,2	0,34
65Г	400	176,0	0,44	0,35
30ХГСА	475	86,0	0,1811	0,45
У8А	390	18,0	0,0462	0,84
У12А	620	7,6	0,0123	1,025
50ХФА	450	32,0	0,0711	0,66
12Х5МА	480	23,0	0,0479	0,72
08Х13	325	72,0	0,2215	0,45
11Х11Н2В2МФ	600	40,0	0,0667	0,64
12Х21Н5Т	700	27,00	0,0403	0,68
12Х18Н9	250	19,0	0,076	1,00
12Х18Н10Т	410	24,0	0,0585	0,91
10Х14Г14Н4Т	340	33,0	0,0971	0,78
36Х18Н25С2	600	36,0	0,06	0,76
ЕИ659	700	3,8	0,00543	1,10
ЕИ852	330	194,0	0,5879	0,26

## Технічні характеристики станів для прокатки листів та штаб

Таблиця Д1А – Технічна характеристика стану 2800 «Алчевського заводу».

Кліть	Діаметр бочки валків, мм		Потужність електродвигунів, кВт	Швидкість прокатки, м/с max
	Робочих	Опорних		
1-ДУО В	720*	-	880	3,0
2-ДУО Г	1150	-	2 < 2050	4,7
3-кварто У	800	1400	4600	5,1

\* - довжина бочки 1000 мм.

Сортамент: сляби  $H_c \times E_c \times L_c = 130 \dots 250 \times 900 \dots 1250 \times 1500 \dots 3000$ , ммЛисти  $h \times b \times l = 8 \dots 50 \times 2500 \times 20000$ , ммТаблиця Д1Б – Технічна характеристика стану 3000 Маріупольського заводу ім. Ілліча.  
(Максимальне зусилля прокатки  $[F_c = 60$  МН).

Кліть	Діаметр бочки валків, мм		Потужність електродвигунів, кВт	Швидкість прокатки, м/с
	Робочих	Опорних		
1-кватро	1000	2100	2 × 8000	4,5
2-кватро У	1000	2000	2 × 11200	6,5

Сортамент: сляби

 $H_c \times E_c \times L_c = 100 \dots 300 \times 1000 \dots 1900 \times 2500 \dots 2800$ , ммлисти  $h \times b \times l = 5 \dots 25 \times 2700 \times 24000$ , мм

Таблиця Д1В – Технічна характеристика стану 3600 заводу «Азовсталь».

Кліть	Діаметр бочки валків, мм		Потужність електродвигунів, кВт	Швидкість прокатки, м/с max
	Робочих	Опорних		
1-ДУО В	900*	-	2 × 1800	4,2
2-кватро	1130	1800	2 × 6900	4,4
3-кватро У	1050	1800	2 × 8600	6,0

Таблиця Д1А – Технічна характеристика та деякі параметри гарячої прокатки на БШНС 1680 заводу «Запоріжсталь»

№ клітей та їх тип	$\frac{D_p \cdot L_p}{D_c \cdot L_c}$ мм	$\frac{d_1 \cdot l_1}{d_2 \cdot l_2}$ мм	$\varepsilon, \%$		Передаюче число редуктора	Номінальна потужність ел. Двигунів, кВт	Відстань між клітьми, м	Швидкість проката-ки, м/с	Оберт и сл. дв. об/хв
			$\beta \leq \varepsilon$ мм	$\beta =$ 1250 ... 1500 мм					
1Д*	900 · 1680	620 ·	25	20	23,99	1840	-	0,99	500
2КВУ	940 · 2440 1320 · 2440	660 · 750 ·	37	35	19,26	5400	6,25	1,09	428
3КВУ	850 · 1680 1240 · 1680	480 · 650 ·	40	37	19,58	3700	21,0	1,13	500
4КВУ	620 · 1680 1240 · 1680	395 · 650 ·	40	37	10,15	3700	19,1	1,57	500
5КВУ	620 · 1680 1240 · 1680	395 · 650 ·	40	37	7,36	3700	25,49	2,17	500
6КВ**	620 · 1680 1240 · 1680	395 · 650 ·	50	45	7,24	5000	58,77	2,2	500
7КВ	620 · 1680 1240 · 1680	395 · 650 ·	50	45	4,67	5000	5,84	3,42	500
8КВ	620 · 1680 1240 · 1680	395 · 650 ·	40	35	2,75	5000	5,84	5,78	500
9КВ	620 · 1680 1240 · 1680	395 · 650 ·	40	35	2,0	5000	5,84	7,93	500
10КВ	620 · 1680 1240 · 1680	395 · 650 ·	25	25	1,56	5000	5,84	10,14	500
11КВ	620 · 1680 1240 · 1680	395 · 650 ·	15	15	1,41	5000	5,84	11,25	500

\*- 1... 5 – чорнові кліті;

\*\*- 6-11 – чистові кліті.

В табл. Д1, Д1А, Д1Б прийняті скорочення:

ВПГГ і ВПГВ – виполомач відповідно горизонтальний чи вертикальний;

D – дуо; КВ – кватро; Р – реверсивна; У – універсальна;

$D_p; L_p$  – діаметр і довжина бочок валка відповідно робочиз (р)

і опорних (о)

$d_1; l_1$  – діаметр і довжина шийок валка;

$\varepsilon$  – відносний обтиск;

$\beta$  – ширина штаб.

Таблиця Д2А – Режими обтисків, технічні характеристики і параметри холодної прокатки на БПШС 1680 заводу Запоріжсталь

№ п/п	H <sub>c</sub> /h мм	Товщини і обтиски по клітям											
		Кліть 1			Кліть 2			Кліть 3			Кліть 4		
		h <sub>1</sub>	Δh	ε	h <sub>2</sub>	Δh	ε	h <sub>3</sub>	Δh	ε	h <sub>4</sub>	Δh	ε
мм	мм	%	мм	мм	%	мм	мм	%	мм	мм	%		
Маловуглецеві сталі 0,8 кп (пс, Ю), 1 кп (пс)													
1*	2,0/0,5	1,35	0,65	32,5	0,81	0,48	35,6	0,60	0,27	31,0	0,5	0,10	16,7
2*	2,3/0,6	1,40	0,90	39,1	0,95	0,45	32,1	0,70	0,25	26,3	0,6	0,10	14,3
3	2,5/0,7	1,60	0,90	36,0	1,10	0,50	33,2	0,82	0,28	25,4	0,7	0,12	15,0
4	2,7/0,8	1,80	0,90	33,4	1,25	0,55	30,6	0,95	0,30	24,0	0,8	0,15	15,9
5	3,0/1,0	2,10	0,90	30,0	1,52	0,58	27,6	1,17	0,35	23,0	1,0	0,17	14,5
6	3,0/1,2	2,20	0,80	26,7	1,70	0,50	22,7	1,37	0,33	19,4	1,2	0,17	12,4
7	3,5/1,4	2,55	0,95	27,0	1,97	0,58	23,2	1,58	0,39	19,8	1,4	0,18	11,4
8	3,8/1,8	2,85	0,95	25,0	2,30	0,55	17,8	1,97	0,33	14,3	1,8	0,17	8,6
Сталі 15 кп(пс), 2 кп (пс), 3 кп (пс), 25пс, 4пс, 20пс													
9	2,7/0,9	1,85	0,85	31,5	1,35	0,51	27,0	1,05	0,30	22,2	0,9	0,15	14,3
10	3,0/1,3	2,25	0,75	25,0	1,78	0,47	20,9	1,47	0,31	17,4	1,3	0,17	11,6
11	3,5/1,6	2,60	0,90	25,7	2,08	0,52	20,0	1,76	0,32	15,4	1,6	0,16	9,1
12	3,8/2,0	3,00	0,80	21,0	2,47	0,59	17,8	2,17	0,30	12,1	2,0	0,17	7,8
Маловуглецеві сталі типу 12Г2А, 10ХНДП, 09Г2А													
13*	2,3/1,0	1,72	0,58	25,2	1,32	0,40	23,2	1,12	0,20	17,8	1,0	0,12	10,7
14*	2,7/3,0	2,10	0,60	22,2	1,70	0,40	19,0	1,43	0,27	16,0	1,3	0,13	10,0
15*	3,2/1,6	2,50	0,70	21,9	2,08	0,42	16,8	1,76	0,32	15,4	1,6	0,16	10,0
16*	3,2/2,0	2,70	0,50	15,0	2,40	0,30	11,0	2,15	0,25	10,4	2,0	0,15	7,0

\*- для штаби шириною до 1250 мм (усі інші режими 3... 12 – для штаб шириною 1500 мм).

Потужність електродвигунів:

$$N_1 = 3300 \text{ кВт};$$

$$N_2 = 3300 \text{ кВт};$$

$$N_3 = 3300 \text{ кВт};$$

$$N_4 = 2 \times 1650 \text{ кВт}.$$

Максимальна швидкість прокатки  $V = 10 \text{ м/с}$ ; редуктори відсутні.

Максимальні оберти електродвигунів:

$$n_1 = 200 \text{ об/хв};$$

$$n_2 = 280 \text{ об/хв};$$

$$n_3 = 380 \text{ об/хв};$$

$$n_4 = 450 \text{ об/хв};$$

Розміри валків:

$$\text{Робочі } D_p = 500 \text{ мм (460)}; \quad d_{\text{вп}} = 260 \text{ мм}; \quad d_{\text{сп}} = 248 \text{ мм};$$

$$\text{Опорні } D_0 = 1300 \text{ мм (1210)}; \quad d_{\text{вп}} = 800 \text{ мм}; \quad d_{\text{сп}} = 1365 \text{ мм}$$

Таблиця ДЗА – Технічна характеристика і параметри холодної прокатки вуглецевих сталей 0,8 кп (пс), 08Ю, 10 кп (пс), 2 кп (пс), 3 кп (пс), Ст10, Ст20, Ст15, Ст 3 на БШНС 1700 Маріупольського заводу ім. Ліліча.

F <sub>c</sub> /h мм	Товщини і обтиски по клітям											
	Кліть 1			Кліть 2			Кліть 3			Кліть 4		
	h <sub>1</sub> , мм	Δh мм	ε, %	h <sub>1</sub> , мм	Δh мм	ε, %	h <sub>1</sub> , мм	Δh мм	ε, %	h <sub>1</sub> , мм	Δh мм	ε, %
2,0	1,30	0,70	35,0	0,85	0,45	34,6	0,60	0,25	29,4	0,5	0,10	16,7
2,2	1,50	0,80	34,8	1,05	0,45	30,0	0,82	0,23	22,1	0,7	0,12	14,6
2,5	1,95	0,55	22,0	1,30	0,65	33,3	0,95	0,35	26,9	0,8	0,15	15,8
2,8	2,15	0,65	23,0	1,45	0,70	32,6	1,05	0,40	27,0	0,9	0,15	14,3
3,0	2,15	0,85	28,3	1,55	0,60	27,9	1,15	0,40	25,8	1,0	0,15	13,0
3,2	2,30	0,90	28,1	1,75	0,55	23,9	1,35	0,40	22,9	1,2	0,15	11,1
3,5	2,60	0,60	17,1	2,00	0,60	23,1	1,55	0,45	22,5	1,4	0,15	9,7
3,8	2,70	1,10	28,9	2,10	0,60	22,2	1,75	0,35	16,7	1,6	0,15	8,6
4,0	3,00	1,00	25,0	2,30	0,70	23,3	1,95	0,35	15,2	1,8	0,15	7,7

Потужність електродвигунів:  $N_1 = N_2 = N_3 = N_4 = 2 \times 2400 = 4800 \text{ кВт}$ .

Передаточні числа редукторів:  $i_1 = i_2 = 1,594; i_3 = i_4 = 1,508$

Обертальні моменти номінальні електродвигунів:

$$M_{H1} = 244 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

$$M_{H2} = 294 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

$$M_{H3} = 224 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

$$M_{H4} = 174 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

Допустима частота обертів електродвигунів:

$$n_1 = 240 \text{ об} \cdot \text{хв}$$

$$n_2 = 400 \text{ об} \cdot \text{хв}$$

$$n_3 = 500 \text{ об} \cdot \text{хв}$$

$$n_4 = 600 \text{ об} \cdot \text{хв}$$

Розміри валків:

$$\text{Діаметр бочок: } D_p = 550 \text{ мм}; D_{ст} = 1420 \text{ мм}$$

$$\text{Діаметр шийок: } d_{шп} = 300 \text{ мм}; d_{шо} = 700 \text{ мм};$$

$$\text{Довжина шийок: } l_{шп} = 600 \text{ мм}; l_{шо} = 1050 \text{ мм}.$$

Максимальна швидкість прокатки 4-25 м/с.

Таблиця ДЗБ – Режими обтисків, технічні характеристики і параметри прокатки жерсті (ст. 08 пс) на безперервних станах 450 і 650 заводу «Запоріжсталь».

Підкат	h/h мм	Товщини і обтиски по клітям											
		Кліть 1			Кліть 2			Кліть 3			Кліть 4		
		$i_1$	$\Delta h$	$\varepsilon$	$i_1$	$\Delta h$	$\varepsilon$	$i_3$	$\Delta h$	$\varepsilon$	$i_4$	$\Delta h$	$\varepsilon$
мм	мм	%	мм	мм	%	мм	мм	%	мм	мм	%		
Нб*	0,5/0,22	0,40	0,19	20,0	0,30	0,10	25,0	0,24	0,06	20,0	0,22	0,02	8,3
Нб	0,6/0,25	0,49	0,11	18,3	0,37	0,12	24,5	0,29	0,08	21,6	0,25	0,04	13,8
Нб	0,6/0,28	0,48	0,12	20,0	0,38	0,19	20,8	0,31	0,07	18,4	0,28	0,03	9,7
Нб	0,6/0,32	0,49	0,11	18,3	0,42	0,07	14,5	0,35	0,07	17,5	0,32	0,03	8,6
Нб	0,6/0,4	0,54	0,06	10,0	0,48	0,06	11,1	0,43	0,05	10,4	0,40	0,03	7,0
b*	0,7/0,36	0,57	0,13	18,6	0,47	0,10	17,5	0,34	0,08	17,0	0,36	0,03	7,7

\*- не відпалений підкат;

\*\* - відпалений підкат.

Потужність електродвигунів:

Стан 450:  $N_1 = N_2 = N_3 = N_4 = 200$  кВт;

Стан 650:  $N_1 = N_2 = N_3 = N_4 = 315$  кВт.

Оберти електродвигунів:

Стан 450:  $n_1 = n_2 = 1200$  об/хв;  $n_3 = n_4 = 1250$  об/хв

Стан 650:  $n_1 = n_2 = n_3 = n_4 = 620/1500$  об/хв

Передаюче число редуктора:

Стан 450:  $i_1 = 4,52$ ;  $i_2 = 3,42$ ;  $i_3 = 3,02$ ;  $i_4 = 2,39$ ;

Стан 650:  $i_1 = 8,47$ ;  $i_2 = 5,21$ ;  $i_3 = 4,6$ ;  $i_4 = 4,6$

Розмір валів:

Стан 450: робочі:  $D_{3,2} = 210/200$  мм;  $d_{m,2} = 120$  мм;  $l_{m,2} = 145$  мм;

опорні:  $D_{3,0} = 520/480$  мм;  $d_{m,0} = 260$  мм;  $l_{m,0} = 170$  мм;

Стан 650: робочі:  $D_{3,2} = 250/238$  мм;  $d_{m,2} = 120$  мм;  $l_{m,2} = 210$  мм;

опорні:  $D_{3,0} = 605/565$  мм;  $d_{m,0} = 300$  мм;  $l_{m,0} = 210$  мм;

Максимальні оберти валів п об/хв і швидкість прокатки, V, м/с.

Стан 450:  $n_1 = 465$ ;  $n_2 = 350$ ;  $n_3 = 400$ ;  $n_4 = 410$ ;

$V_1 = 2,85$ ;  $V_2 = 3,75$ ;  $V_3 = 4,25$ ;  $V_4 = 4,40$ ;

Стан 650:  $n_1 = 175$ ;  $n_2 = 280$ ;  $n_3 = 325$ ;  $n_4 = 325$ ;

$V_1 = 2,85$ ;  $V_2 = 3,65$ ;  $V_3 = 4,15$ ;  $V_4 = 4,15$ ;



Таблиця Д4А – Технічна характеристика 20-ти валкового стану 1700

Назва валків і їх кількість	Розміри валків, мм			
	Діаметр бочки max/min	Довжина бочки	Довжина валків	Довжина шийки
Робочі – 2	140 або 130/108	1728	1728	-
Перші проміжні – 4	162 або 145/128	1792	1818	-
Другі проміжні неприводні – 4*	247/231	1714	2204	110
Другі проміжні приводні – 4*	241/225	1714	2017	110
Опорні підшипники – 48*	406,7	227,08	-	-

\*- матеріал приводник валків сталь 9ХМФ.

Електродвигуни валків:  $N = 2 < 2250$  к. с. з обертами 275/550 об/хв.

Сортамент стану: гарячекатані рулони  $H_c \times B_c = 3 \dots 4,0 \times 900 \dots 1250$  мм

Холоднокатані штаби:  $a \times b = 0,7 \dots 2,5 \times 900 \dots 1250$  мм

Таблиця Д4Б – Технічні характеристики реверсивного стану 1200.

Валки	Розміри валків, мм			
	Бочка		Шийка	
	Діаметр max/min	Довжина	Діаметр	Довжина
Робочі	430/400	1220	220	480
Опорні	1300/1220	1220	Конус 800×658	1040

Електродвигун валків:  $N = 3900$  кВт;  $n = 320/570$  об/хв.;

Швидкість прокатки 0,5...4,0 м/с;

Сортамент стану: гарячекатані рулони  $H_c \times B_c = 2,0 \dots 3,5 \times 850 \dots 1030$  мм

Холоднокатані штаби:  $a \times b = 0,5 \dots 2,0 \times 850 \dots 1030$  мм

Матеріали валків: робочих – сталь 9ХФ; Опорних – сталь 9Х2МФ.

Таблиця Д4В – Технічна характеристика реверсивного стану 1680.

Валки	Розміри валків, мм				Матеріал сталі
	Бочка		Шийка		
	Діаметр max/min	Довжина	Діаметр	Довжина	
Робочі	510/460	1680	260	250	9Х2МФ
Опорні	1420/1370	1760	Конус 890/734	760	9ХФ

Електродвигун валків:  $N = 2250$  к. с.;  $n = 300 \dots 600$  об/хв.;

Передаточне число редуктора комбінованого з шестерінчастою кліткою  $i = 3,21$ ;

Оберти валків  $n = 93,5 \dots 187$  об/хв.;

Швидкість прокатки 0,5...4,75 м/с

Сортамент стану: леговані сталі

Гарячекатані рулони:  $H_c \times B_c = 2,0 \dots 3,8 \times 1000 \dots 1500$  мм

Холоднокатані рулони:  $h \times b = 0,5 \dots 2,0 \times 1000 \dots 1500$  мм.

**Б.П. Серeda**  
*д.т.н., професор*  
**М.Г. Прицип**  
*к.т.н., доцент*  
**Ю.О. Белоконь**  
*к.т.н., доцент*

## **ПРОКАТКА ЛИСТІВ ТА ШТАБ**

**Методичні вказівки до курсових робіт**  
*для студентів ЗДІА*  
*спеціальності 6.090404 "Обробка металів тиском"*  
*денної та заочної форм навчання*

Підписано до друку 30.06.2011р. Формат 60x84 1/32. Папір офсетний.  
Умовн. друк. арк. 2,9. Наклад 30 прим.  
Замовлення № 95/11-Б

Запорізька державна інженерна академія  
Свідоцтво про внесення до Державного реєстру суб'єктів  
видавничої справи ДК № 2958 від 03.09.2007 р.

Віддруковано друкарнею  
Запорізької державної інженерної академії  
з оригінал-макету авторів

69006, м. Запоріжжя, пр. Леніна, 226  
ЗДІА,  
тел. 2238-240