

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**Національний університет «Запорізька політехніка»**

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**

до виконання практичних завдань  
та технологічних розрахунків з дисципліни  
**“Технологія листового прокатування”**  
для студентів спеціальності 131 – Прикладна механіка,  
спеціалізації «Обладнання та технології пластичного формування  
конструкцій машинобудування» всіх форм навчання

Методичні вказівки до виконання практичних завдань та технологічних розрахунків з дисципліни “Технологія листового прокатування” для студентів спеціальності 131 – Прикладна механіка, спеціалізації «Обладнання та технології пластичного формування конструкцій машинобудування» всіх форм навчання /Укл. Обдул В.Д., Матюхін А.Ю. – Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2019. - 66 с.

Укладачі: Обдул В.Д., доц., канд. техн. наук  
Матюхін А.Ю., доц., канд. техн. наук

Рецензент: Дубина В.І., проф., канд. техн. наук

Відповідальний  
за випуск Матюхін А.Ю., доц., канд. техн. наук

Затверджено  
на засіданні кафедри ОМТ  
протокол № 1 від 27.08.2019

Рекомендовано до видання  
НМК машинобудівного факультету  
протокол № 1 від 03.09.2019

## ЗМІСТ

<b>1 ВХІДНІ ДАНІ</b> .....	4
<b>2 ПРОКАТУВАННЯ ВІДЛИВКІВ НА СЛЯБ</b> .....	5
<b>3 ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ГАРЯЧОГО ПРОКАТУВАННЯ СЛЯБІВ І ТОНКОГО ЛИСТА</b> ....	7
<b>4 БРАК ГАРЯЧЕКАТАНОЇ ЛИСТОВОЇ СТАЛІ</b> .....	8
<b>5 МЕТОДИ РОЗРАХУНКІВ РЕЖИМІВ ОБТИСКУВАННЯ ПРИ ГАРЯЧОМУ ПРОКАТУВАННІ СЛЯБІВ, ТОВСТИХ І ТОНКИХ ЛИСТІВ</b> .....	9
<b>6 ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ХОЛОДНОГО ПРОКАТУВАННЯ</b> .....	13
<b>7 ПІДГОТОВКА ЗАГОТОВОК ДО ПРОКАТУВАННЯ</b> .....	14
<b>8 ОБЧИСЛЕННЯ РЕЖИМІВ ДЕФОРМУВАННЯ ПРИ ХОЛОДНОМУ ПРОКАТУВАННІ</b> .....	16
<b>9 ПРИКЛАДИ РОЗРАХУНКІВ</b> .....	18
9.1 Розробка режимів прокатування відливки .....	18
9.2 Розробка режимів прокатування гарячекатаної смуги .....	28
9.3 Розробка режимів прокатування холоднокатаної смуги .....	34
<b>ЛІТЕРАТУРА</b> .....	43
<b>Додаток А Технічні характеристики деяких станів</b>	44

## 1 ВХІДНІ ДАНІ

Вхідними даними для виконання вказаних розрахунків є наступні дані:

- Спосіб прокатування – в гарячому чи холодному стані, тобто це може бути або гаряче прокатування відливків на сляби заданого розміру, або гаряче прокатування слябу на тонкий лист. Завдання може мати і зворотній характер – відомі розміри слябу чи тонкого листа.

- Марка прокатуваного металу  
- Вагові чи геометричні параметри прокату, або розкату.  
- Тип посаду в нагрівальні пристрої – холодний, гарячий, чи транзитний прокат.

У випадку холодного прокатування заданими величинами, як правило, є геометричні і вагові параметри прокату.

Прокатування штаб та листів у неперервних листових станах проводять зі слябів товщиною 70-250 мм і більше, шириною 1980 мм, довжиною 6-9 м та вагою до 30 т.

Сляби, що нагріваються в методичних печах до температури, вказаної і інструкції з нагріву, видають по одному на відвідний пічний рольганг та транспортують до чорнового окалиноломача. В чорновому окалиноломачі обтиснення, як правило, дорівнює 5-20%. При менших обтисках шар окалини погано взламується, а при обтисненнях більш за 20% окалина може вдавлюватися у поверхню сляба. Для зменшення кількості переналагодження валків чорнового окалиноломача в залежності від товщини слябів обтиснення в чорновому окалиноломачі часто приймають постійним для всього сортаменту слябів даного стану. Після чорнового окалиноломача розкат передають в уширюючу кліть, прокатування в якій відбувається «на пряму» та з «уширенням».

Прокатування на пряму застосовують якщо ширина слябу перед прокатуванням на 10-20 мм більше ширини штаби чи листа, що з нього катається. При такому співвідношенні ширини слябу та готового листа на горизонтальному пресі обтиснення не проводять.

Прокатування з уширенням застосовують в тих випадках коли ширина готової штаби або листа більше ширини слябу. В цьому випадку сляб перед кліттю, що уширює, кантується на  $90^{\circ}$  і задають в валки широкою стороною. При прокатуванні з уширенням величини обтиснення визначаються по співвідношенню ширини сляба та готового листа.

## 2 ПРОКАТУВАННЯ ВІДЛИВКІВ НА СЛЯБ

В залежності від марки матеріалу необхідно вибрати режими нагрівання відливків. Нагрівання відливки, як правило, здійснюється в нагрівальних колодязях, а нагрівання слябів – у методичних три-, або чотиризонних печах з використанням в якості палива суміші газів: коксо – доменного газу, чи доменно – природного газу. Нагрівальні пристрої можуть бути рекуперативними, регенеративними або з електронагріванням відливків чи слябів, [1,11]. В перших двох окислення складає 2 – 2,5%, а в останніх – 0,1-0,3%.

Рекомендовані режими нагрівання в залежності від хімічного складу приведені в [2, 3, 10], там же розглянуто і можливі види браку, які виникають при порушенні режимів нагрівання.

Посад металу в нагрівальні пристрої може бути холодним (температура поверхні відливка умовно приймається нижче 400°C), або гарячим, коли температура на поверхні відливка лежить в межах 500 – 1000°C (при прокатуванні конструкційних марок сталей, коли вміст вуглецю менше 0,4%, температура посаду може бути 1100 - 1200°C, відливка при цьому має, як правило, рідку серцевину). Гарячий посад злитків в нагрівальні печі здійснюється за рахунок передачі щойно закристалізованого злитку з сталеплавильного цеху до обтискувального цеху у вагоні-термосі.

Нагрівання перед прокатуванням повинне забезпечити найменший опір деформуванню і високу пластичність. Отже чим вища температура заготовки, тим менші витрати енергії при прокатуванні, більші величини абсолютного обтискування по проходах, вища продуктивність станів. Одночасно різко знижується кількість поломок механізмів станів. Найбільш важливим є нагрівання, яке забезпечує рівномірне прогрівання металу по всьому перетину заготовки (перепад температури на поверхні і всередині заготовки не повинен перевищувати 10÷20°C. В той же час висока температура і неправильні режими нагрівання можуть викликати більше окалиноутворення, зменшення вмісту вуглецю, перегрівання, перепалювання, які погіршують якість металу, або приводять до браку.

Окалина, за своєю природою являє собою окисли заліза FeO, FeO<sub>2</sub>, тощо. При цьому, за своїми механічними властивостями є більш

твердою за розігрітий основний метал. Таким чином, при деформуванні злитку під час прокатуванні на слябінгу, окалина проникає в поверхневий шар металу, залишаючи там дефекти.

На утворення окалини впливає тривалість нагрівання, яке визначається хімічним складом металу. Тривалість нагрівання визначається також температурою посадки і відношенням поверхні заготовки до її маси.

Режими нагрівання металів і їх сплавів можна знайти у відповідних джерелах [1, 2, 4, 5, 10, 11].

### 3 ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ГАРЯЧОГО ПРОКАТУВАННЯ СЛЯБІВ І ТОНКОГО ЛИСТА

Нагріті відливки подають для прокатування на слябінги, блюмінги або блюмінги – слябінги.

За діаметром робочих валків обтискувальні стани ділять на стани з малим діаметром бочки валка (*880 – 900 мм*), середнім діаметром бочки валка (*950 – 1150 мм*), і з великим діаметром бочки валка (*1200 – 1300 мм*).

Відомо, що ступінь пророблюваності металу залежить від співвідношення висоти розкату –  $H$  і діаметра бочки валка –  $D$ . Повна пророблюваність по висоті досягається при  $H/D \leq 0,5$  і сприяє однорідності властивостей розкату по перетину і підвищенню якості металу.[11,2]. Для отримання слябів більше всього використовують спеціальні стани – слябінги, які внаслідок оснащення кліті вертикальними валками мають певні переваги перед блюмінгами, або блюмінгами – слябінгами.

Сучасні слябінги *1150* конструкції НКМЗ прокатують сляби товщиною *80÷300 мм*, шириною *900 – 1550 мм* з відлиwkів вагою до 28 т при швидкості прокатування до 5м/с і продуктивності 5 – 5,5 млн на рік. Дані по обтискувальних станах, необхідні для розрахунків наведені в додатках.

Гаряче прокатування товстого та тонкого листа (стрічки, смуги) здійснюють на станах реверсивних, напівбезперервних та безперервних. Ці стани можна класифікувати за наступними ознаками: кількість клітей і їх конструкції та призначення, тип нагрівальних пристроїв, довжина бочки валків – сортамент листового прокату, склад допоміжних печей. За кількістю клітей стани для прокатування товстого листа бувають одно-, дво-, три- і чотириклітеві. Довжина бочки валка може сягати *2000 – 2300 мм, 3000 – 3500 мм, 5000 – 5500 мм*.

Стани для гарячого прокатування тонкого листа можуть бути одноклітевими (з печевими моталками) напівбезперервні та безперервні стани. На цих станах отримують стрічку (смугу) товщиною від *1,0 – 1,2 мм* до *12 – 16 мм* і шириною до *2150 мм* вагою до *50 – 60 т* і швидкістю прокатування до *25 – 30 м/с*. Крім того на сьогодні широко застосовуються (особливо за кордоном) планетарні стани.

Дані по станах гарячого прокатування товстих і тонких смуг наведені в додатках.

Особливості будови широкосмугових станів і технології прокатування на них в деталях розглянуто в [2,3,10,11].

## 4 БРАК ГАРЯЧЕКАТАНОЇ ЛИСТОВОЇ СТАЛІ

До основних недоліків гарячекатаної листової сталі слід віднести незадовільні механічні властивості, неточність розмірів, хвилястість та поверхневі дефекти.

Незадовільні механічні властивості листової сталі виникають внаслідок зміни режимів нагрівання, прокатування, охолодження і термічної обробки.

Неправильні розміри прокату отримуються внаслідок прокатування відливків або слябів, маса яких не відповідає заданим розмірам; при значному зношуванні валків посередині форма буде лінзоподібною і т. ін.[1,2,11].

В свою чергу, на якість поверхні гарячекатаної листової сталі впливають:

- хімічний склад сталі, способи її плавлення та розливання, якість поверхні сляба (злитку), режими нагріву і прокатування слябів і злитки, способи зачистки поверхневих дефектів заготовки;

- властивості шару окалини, які залежать від хімічного складу сталі та режимів нагріву слябів, тривалості та температура нагріву, складу атмосфери і тиску в печі (первинна окалина), температурного режиму прокатування та охолодження штаби (вторинна окалина), температури прокатування в чистовій групі, режиму охолодження штаби після прокатування, температури змотування й охолодження рулонів після прокатки.

Для попередження виникнення дефектів, пов'язаних з окалиною та для збільшення якості поверхні сталі використовують різноманітні методи. Зокрема, з метою зменшення вкатування окалини в основний метал на сучасних станах перед чорною групою клітей встановлюють окалиноломачі. Окалиноломач, що застосовується перед чистовою групою клітей має бути роликового типу.

Ефективним способом збільшення якості поверхні може бути застосування пристроїв гідрозбиву з тиском води до 20,0 МПа, які влаштовуються перед клітями чистової групи.

Для підвищення якості поверхні листової сталі в останній час на деяких станах використовують технологічне змащення. При цьому знижується розгар поверхні робочих валків, збільшується їх стійкість, зменшується сила прокатування, зменшується твердість і міцність окалини. Застосування пристрою койлбок в складі широкоштабового стану також сприяє збільшенню якості поверхні листів.

## 5 МЕТОДИ РОЗРАХУНКІВ РЕЖИМІВ ОБТИСКУВАННЯ ПРИ ГАРЯЧОМУ ПРОКАТУВАННІ СЛЯБІВ, ТОВСТИХ І ТОНКИХ ЛИСТІВ

На сьогодні [14] існує біля одинадцяти методів обчислення режимів обтискування, які мають теоретичне обґрунтування. Розглянемо деякі з них:

І Метод, заснований на граничних умовах захвату металу, який характеризується рівністю коефіцієнта тертя тангенсу кута захвату:

$$f = \operatorname{tg} \alpha = C \alpha$$

де  $C$  – коефіцієнт пропорціональності.

Якщо прирівняти дугу захвату її хорді, отримаємо

$$\alpha = \sqrt{\frac{\Delta h}{R}}$$

Таким чином будемо мати

$$\Delta h_{\max} = \frac{1}{C_2} f^2 R$$

при: 
$$\alpha = 1 \div 30^\circ \frac{1}{C_{\text{сеп.}}} = 0,95$$

тоді:

$$\Delta h_{\max} = 0,95^2 f^2 R \approx 0,9 f^2 R$$

на практиці:

$$\Delta h_{\max} = 0,9 K_a f^2 R \text{ де}$$

$K_n = 0,9$ -коефіцієнт, що враховує переточку валків

$K_a = 0,95$ -коефіцієнт надійності захвату смуги валками

Тоді 
$$\Delta h_{\max} = 0,77 f^2 R$$

Для сталених валків

$$f = 1,05 - 0,005t, \text{ де}$$

$t$  – температура прокатуваного металу

Для чавунних валків:

$$f = 0,8 f_{\text{ст}}$$

II Метод заснований на використанні повної потужності двигуна, яка визначається так:

$$N = (1,05 - 1,1) \cdot p \cdot B \cdot \Delta h \cdot v, \text{ де}$$

$P$  – питомий тиск на валки, Н/м<sup>2</sup>

$B$  – ширина розкату, м;

$\Delta h$  – обтискування, абсолютне, м;

$v$  – швидкість прокатування, м/с<sup>2</sup>

$A$  величина обтискування буде дорівнювати

$$\Delta h_t = \frac{N}{(1,05 - 1,1)p \cdot B \cdot v}, \text{ або}$$

$$\Delta h_t = \frac{N}{(1,1 - 1,2)p \cdot B \cdot v}$$

Значення питомого тиску приймається на базі літературних даних[16], а потім перевіряється.

III Метод, розрахований на рівності повного тиску метала на валки в кожному проході (кліті).

Якщо розрахунок режимів прокатування ведуть від попереднього (по ходу прокатування)

$$\Delta h_n = \left( \frac{P_{n-1}}{P_n} \cdot \frac{B_{n-1}}{B_n} \right)^2 \cdot \frac{R_{n-1}}{R_n} \cdot \Delta h_{n-1}$$

Для слябінгів, блюмінгів, одноклітєвих станів  $B_{n-1} \approx B_n i$

$$\Delta h_n = \left( \frac{P_{n-1}}{P_n} \right)^2 \Delta h_{n-1}$$

Значення  $P_n$  і  $P_{n-1}$  приймають по літературним даним. Якщо ці дані відсутні, то приблизні дані знаходяться по найбільш слабкому місцю на стані (міцність деталей приводу чи прокатних валків)

IV Метод, який використовує міцність прокатних валків.  
Допустиме зусилля зумовлене міцністю валка.

$$P_{son} = \frac{0,4D^2\sigma_{3z}}{L + \ell - 0,5B}, \text{ де}$$

$D$  - діаметр бочки валка,

$\sigma_{3z}$  - допустиме напруження на згин, Мпа,

$L$  - довжина бочки валка, м,

$\ell$  - довжина шийки валка, м,

$B$  - ширина розкату.

Допустимий повний тиск металу на валки

$$P_{дон} = P \cdot B \sqrt{R \cdot \Delta h_{max}}$$

Приврівнюючи ці залежності отримаємо

$$\Delta h_{max} = \frac{0,32 \cdot D^5 \cdot \sigma_{3z}^2}{[(L + \ell - 0,5B)P \cdot B]^2}$$

Виходячи з міцності шийки валка

$$P_{дон.} = \frac{W_m \cdot \sigma_{3z}}{C - \tau}, \text{ де}$$

$W_m = 0,1d^3$  - момент опору шийки валка на згин;

$C \approx 0,55d$  - відстань від краю бочки валка до вісі натискувального гвинта;

$\tau \approx 0,1d$  - радіус галтелі;

$d$  - діаметр шийки валка.

Якщо прийняти  $d = 0,6D$ , то

$$\Delta h_{max} = \frac{0,232d^3 \sigma_{3z}^2}{(P \cdot B)^2}$$

В Метод розрахунків за рушійним моментом, використовують тоді, коли обмежуючим фактором є привід головної лінії кліті.

Момент прокатування:

$$M_{кр.} = 2P\psi\sqrt{R\Delta h}, \text{ де}$$

$\psi$  - коефіцієнт, враховує плече рівнодіючої тиску металу на валки відносно вертикальної вісі, що проходить по центрах валків.

Якщо вважати, що витрати на тертя складають близько 10%, то

$$M_{\text{дв.}} = \frac{1,1P\sqrt{R\Delta h + 1,32 f_{\text{нід}} P \cdot R}}{i}$$

$$\Delta h_{\text{вас}} = \frac{1}{R} \left( \frac{M_{\text{дв.}i}}{1,1P} - 1,2 f_{\text{нід}i} \cdot R \right)^2,$$

де:

$i$  – передавальний коефіцієнт.

З іншими методами можна ознайомитись в [3,14].

### **Холодне прокатування тонких стрічок, смуг, листів**

Холодне прокатування в порівнянні з гарячим має наступні переваги:

- виробництво смуг, листів товщиною від декількох мікронів до 0,8 – 1мм;
- висока якість продукції як по геометрії, так за фізико – механічними властивостями.

Основна маса продукції виготовляється товщиною 0,5 – 2,5мм і шириною до 2300мм, а жерсть виготовляється товщиною 0,07 – 0,3мм, шириною до 1300мм.

Переважну більшість прокатної продукції в кольоровій металургії у вигляді тонких стрічок і листів, також отримують холодним прокатуванням. Наприклад фольга з алюмінію випускається у вигляді смуг товщиною 0,005 мм шириною до 1000 – 1500 мм.

## **6 ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ХОЛОДНОГО ПРОКАТУВАННЯ**

Прокатним станом називається машина, що призначена для обробки металів прокатуванням.

Основна операція, що застосовується на прокатному стані є деформація металу між валками, що обертаються. Крім того, на прокатному стані виконується багато допоміжних операцій, якими супроводжується процес прокатування, а саме: нагрівання, розрізання та правка металу, змотування його в бунти або рулони, подача металу до валків стану, кантування, транспортування металу, тощо. Тому прокатний стан у більшості випадків складається не лише з машини, що здійснює не опосередковано процес прокатування, але й з цілого ряду машин та нагрівальних пристроїв, зв'язаних між собою в роботі і реалізуючи прокатування разом з пов'язаними до неї допоміжними операціями.

Обладнання прокатного стану, що служить для деформації металу між валками, що обертаються, називається основним обладнанням та розташовується по головній лінії прокатного стану, а для виконання інших операцій – допоміжним обладнанням прокатного стану або допоміжними машинами та механізмами [9].

Всі стани за технологічним призначенням можна розділити на прокатні, дресирувальні і прокатно – дресирувальні.

Найпродуктивнішими є безперервні стани - дво-, три-, чотири-п'яти і шестиклітеві. Але більше за всіх використовуються чотири або п'ятиклітеві стани.

За конструкцією клітей вони можуть бути дуо, кварто, шести-, дванадцяти, або двадцятивалковими.

Одноклітеві стани – реверсивні, мають меншу продуктивність, але вони більш гнучкі в технологічному плані.

## 7 ПІДГОТОВКА ЗАГОТОВОК ДО ПРОКАТУВАННЯ

Заготовкою для виробництва холоднокатаних смуг і стрічок є гарячекатані смуги і стрічки товщиною, здебільшого, від 1,8 до 6,0 мм, які поступають на переробку у вигляді рулонів. Поверхня цих заготовок покрита окисною плівкою, яка вдавлюється в основний метал, погіршуючи його якість і сприяє швидкому зношуванню валків. Тому першою операцією при холодному прокатуванні є видалення окалини з поверхні заготовки.

Існують декілька способів видалення окалини, однак найбільш широке застосування отримали механічний і хімічний.

На сьогодні ці методи використовують як окремо так і в комбінації.

Для хімічного видалення (травлення) використовують розчини соляної або сірчаної кислот.

Після травлення смуги поступають на промивання і сушіння гарячим повітрям. Ці операції як правило виконуються на одному агрегаті – травильному. Швидкість проходження смуги через травильний агрегат досягає 3 – 6 м/с.

Після видалення окалини і сушіння метал поступає на прокатування.

Холодне прокатування завжди ведеться з натягуванням, як переднім, так і заднім. Це дозволяє знизити тиск металу на валки і покращити геометрію смуги. Переднє натягування лежить в межах  $(0,2 - 0,5) \sigma_{т.}$ , причому межа текучості повинна враховувати наклеп. Заднє натягування вибирають меншим  $0,1\sigma_{т.}$  [10,11], щоб не було зварювання витків при наступному відпалюванні.

Велику роль при холодному прокатуванні грає мастило. Мастило крім того виносить тепло з вогнища деформації, абразивні частки з контактних поверхонь і сприяє зменшенню зусиль прокатування. Типи мастил, які використовуються при холодному прокатуванні і коефіцієнти тертя наведені в таблиці IV.5, IV.7 [17] для виробництва найбільш тонких смуг конструкційних марок сталей відносно обтискування вибирають  $E_2 \approx 0,8$ , а при прокатуванні більш товстих смуг  $E_2 = 0,5 - 0,6$ . Товщину заготовки вибирають виходячи з

товщини готової продукції і вибраного сумарного відносного обтискування:

$$h_{\text{ноч.}} = \frac{h\kappa}{1 - E_{\Sigma}}$$

Розподіл обтискування по клітям (проходам) розподіляють згідно з [10,11,1], перевіряючи при цьому на відповідність можливості захоплення стрічки валками:

$$tq\alpha_{\text{max}} \leq f_{\text{mp}}$$

Якщо необхідно визначити середнє значення межі текучості, то її визначають як середнє арифметичне:

$$\sigma_{\text{ср}} = 0,5(\sigma_{\tau_0} + \sigma_{\tau_1}),$$

де:

$\sigma_{\tau_0}$ - межа текучості перед входом металу в вогнище деформації,

$\sigma_{\tau_1}$ - межа текучості металу після виходу з вогнища деформації.

## 8 ОБЧИСЛЕННЯ РЕЖИМІВ ДЕФОРМУВАННЯ ПРИ ХОЛОДНОМУ ПРОКАТУВАННІ

Вибір режимів деформування багато в чому визначає якість та продуктивність технологічного процесу, а тому при розробці технологічного процесу прокатування він займає значне місце. Розрахунок режимів холодного прокатування включає:

- визначення величини сумарного обтискування;
- визначення раціональної товщини підкату;
- вибір режимів натягування;
- вибір швидкісних параметрів;
- розрахунок зусилля прокатування, рушійного моменту і потужності.

Величину сумарного обтискування вибирають в залежності від прокатуваного матеріалу. В літературі є багато відомостей по зміцненню металів при холодному прокатуванні, представлені у вигляді кривих зміцнення, або апроксимуючих формул.[1,2,7,14,17]

При холодному прокатуванні необхідно також враховувати сплюснутість валків, яке збільшує довжину вогнища деформації:

$$l_{ac} = \sqrt{R\Delta h + l_1^2} + l_1,$$

де  $l_1$  – довжина частини дуги контакту, що знаходиться за лінією валків.

Хічкок пропонує наступну залежність для визначення  $l_1$ :

$$l_1 = \frac{8(1 - \mu^2)}{3,14E} RP_{ep} = mRP_{ep},$$

де  $\mu$  - коефіцієнт який залежить тільки від механічних властивостей

валків;

$E$  – модуль пружності валків;

$R_{cp}$  – середнє значення питомого тиску на валки.

Для сталевих валків  $m = 1,12 \cdot 10^{-5} \frac{1}{МПа}$ ;

для чавунних, відбілених  $m = 1,9 \cdot 10^{-5} \frac{1}{МПа}$ ;

для карбідо вольфрамівих  $m = 0,36 \cdot 10^{-5} \frac{1}{\text{МПа}}$ ;

Питомий тиск знаходять наближенням. Спочатку обчислюють  $P_{\text{ср}}$  без врахування сплющування, потім його значення підставляють в вище наведену формулу. Якщо різниця між обчисленим і заданим значенням складає  $\leq 5\%$ , розрахунки вважають задовільними.

Зусилля прокатки буде дорівнює

$$P = P_{\text{ср}} B_{\text{л}} \cdot \ell_{\text{дс}}$$

Рушійний момент:

$$M_{\text{пр}} = 2P_{\psi} \ell_{\text{дс}}, \text{ де}$$

$B$  – ширина смуги ( стрічки, листа)

$\ell_{\text{дс}}$  – довжина вогнища деформації

$\psi$  – коефіцієнт плеча моменту;

$$\psi = 0,294 - 0,525 \frac{\ell_1}{\ell_{\text{дс}}}$$

Ширина площі пружного сплющування валків  $B_k$  можна визначити за залежністю Герца – Беляєва:

$$B_k = 3.04 \sqrt{\frac{P_e}{L_0 \cdot E} \cdot \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}},$$

де:

$P_e$  – зусилля прокатування;

$E$  – модуль пружності (для сталевих валків  $E=2,06 \cdot 10^5$  МПа, чавунних –  $E=1,26 \cdot 10^5$  МПа, карбидовольфрамівих –  $E=6,51 \cdot 10^5$  Мпа);

$L_0$  – довжина бочки валка;

$R_1 R_2$  – радіуси валків робочих.

Крім того проводять перевірку валків на згинання, можливість передавання рушійного моменту і крім того на контактну міцність.

Якщо розрахунки ведуться для станів безперервного прокатування, необхідно провести розрахунок швидкісних параметрів на основі незмінності секундних об'ємів.

$$v_i \cdot B_i \cdot h_i = \text{const.}$$

## 9 ПРИКЛАДИ РОЗРАХУНКІВ

Розробити режими прокатування відливки ( $720 \times 1370 / 780 \times 1600$ )  $2300$  мм масою  $17,7$  т на сляб перетином  $140 \cdot 1400$  мм. Матеріал - Ст 3кп ( $C \approx 0,20\%$ ;  $Si = 0,03\%$ ;  $Mn = 0,6\%$ ;  $S = 0,015\%$ ;  $P = 0,01\%$ ;  $N = 0,03\%$ ;  $Al = 0,08\%$ )

### 9.1 Розробка режимів прокатування відливки

Визначаємо максимально можливу величину обтискування, виходячи з граничних умов захвату металу.

$$\Sigma h_n = h_o - h_k + k(b_o - b_k)$$

$$\Sigma h_e = b_o - b_k + k(h_o - h_k),$$

де:

$K = 0,15$  [1,4], коефіцієнт умовного показника збільшення ширини;

$h_o, h_k$  - товщина розкату до і після переробки;  $h_o = 780$  мм;  $h_k = 140$  мм;

$b_o, b_k$  - ширина розкату до і після переробки,  $b_o = 1600$  мм,  $b_k = 1400$  мм.

Приймаємо  $t_k = 1050^\circ C$ , тоді

$$f = 1,05 - 0,0005 \cdot 900 = 0,6$$

Вважаємо, що сляб товарний і температуру в кінці прокатування можна прийняти  $t_k = 900^\circ C$ .

$$f = 0,6 \text{ і } \alpha = \arctg 0,6 = 0,54 \text{ рад.}$$

Отже:

$$\Delta h_{H \max} = 0,54 \cdot 575 = 167,6 \text{ мм}$$

$$\Delta h_{B \max} = 0,54 \cdot 450 = 131,2 \text{ мм}$$

Кількість проходів буде складати

$$n_{Hp} = \frac{\sum h_H}{\Delta h_{H \max}} = \frac{670}{167,5} \approx 3,9$$

$$n_{Bp} = \frac{\sum h_B}{\Delta h_{B \max}} = \frac{296}{131,2} = 2,2$$

Приймаємо  $n_{Hp} = 4$ ;  $n_{Bp} = 3$ .

Тоді

$$\begin{aligned}\sum h_H &= 7800 - 140 + 0,15(1600 - 1400) = 670 \text{ мм} \\ \sum h_B &= 1600 - 1400 + 0,15(780 - 140) = 296 \text{ мм}\end{aligned}$$

Визначаємо максимально можливий кут захвату із залежності

$$\begin{aligned}\Delta h_{H\max} &= \alpha_{\max} R_H \\ \Delta h_{B\max} &= \alpha_{\max} R_B\end{aligned}\text{ де}$$

$R_H, R_B$  - радіуси валків стану слябінг (попередньо зупиняємось на використанні слябінга 1150 у якого:  $D_{\text{бн}}=1150 \text{ мм}$ ;  $D_{\text{об}}=900 \text{ мм}$ ;  $L_{\text{бн}}=1150 \text{ мм}$ ,  $L_{\text{об}}=2100 \text{ мм}$ ;  $N_{\text{об н}}=7200 \text{ квт}$ ;  $n=0-53-80 \text{ об/хв}$ ;  $N_{\text{об в}}=2300 \text{ квт}$ ;  $n=0-75-120 \text{ об/хв}$ ; висота максимальна підйому верхнього валка – 1750 мм; відстань між вертикальними валками регульована в межах 720 – 2150 мм..)

$$\alpha_{\max} = \arctg f,$$

де  $\alpha$ - коефіцієнт тертя між металом і валками і дорівнює [1,8]:

$$f = 1,05 \div 0,0005 t_k \text{ де}$$

$t_k$  – температура кінця прокатування.

Для слябінга кількість проходів повинна бути непарною, отже

$$n_n = 5; n_v = 3$$

З іншого боку абсолютна величина обтискування обмежується міцністю валків і встановленою потужністю електродвигуна головної лінії:

$$\Delta h = N(1,09 \cdot p \cdot B \cdot v),$$

де  $N$ - потужність електродвигуна головної лінії, квт;

$P$ - питомий тиск металу на валки, Мпа;

$B$  - ширина розкату, мм

$v$ - швидкість прокатування, м/с

Для розрахунків приймаємо

$$B = 1600 \text{ мм}; v = 780 \text{ мм/с}$$

Питомий тиск металу на валки

$$P = \sigma_T 0,5 \left( \frac{l_o}{h} + \frac{l_o}{h} \right); \text{ де}$$

$l_o = \sqrt{R \cdot \Delta h}$  – довжина вогнища деформації.

$\sigma_T$  – середнє значення межі текучості;

$$\sigma_m = 1,15 \sigma_o \cdot k_v \cdot k_r \cdot k_l, \text{ де}$$

$\sigma_o = 86 \text{ МПа}$  – базисне значення межі текучості;

$$k_v = 1,35; k_r = 0,6; k_l = 0,9 \quad [11],$$

коєфіцієнти, які враховують швидкість, температуру прокатування і ступінь деформування;

$$\sigma_m = 1,15 \cdot 86 \cdot 1,35 \cdot 0,6 \cdot 0,9 = 72 \text{ МПа,}$$

$$l_{\text{дн}} = \sqrt{575 \cdot 167,6} = 310 \text{ мм}$$

$$l_{\text{дв}} = \sqrt{450 \cdot 131,2} = 242 \text{ мм}$$

Середні значення висоти і ширини відливки:

$$h_{\text{ср}} = 704,2 \text{ мм; } h_{\text{срв}} = 1574,8 \text{ мм,}$$

отже

$$l_{\text{дн}}/h_{\text{ср}} = \frac{310}{704,2} = 0,44$$

$$l_{\text{дв}}/h_{\text{срв}} = \frac{242}{1574,8} = 0,15$$

Середнє значення питомого тиску:

$$P_{\text{срн}} = 72 \cdot 0,5 \left( 0,44 + \frac{1}{0,44} \right) = 97,6 \text{ МПа;}$$

$$P_{\text{срв}} = 72 \cdot 0,5 \left( 0,15 + \frac{1}{0,15} \right) = 245 \text{ МПа;}$$

Максимально можлива величина обтискування, обмежена потужністю електродвигуна:

$$\Delta h_{\text{н}} = \frac{14400}{(1,09 \cdot 97,6 \cdot 1000 \cdot 2)} = 56 \text{ мм}$$

$$\Delta h_{\text{в}} = \frac{4600}{(1,09 \cdot 245 \cdot 780 \cdot 2)} = 53 \text{ мм}$$

Скориставшись рекомендаціями [1,2;11] вибираємо відповідну схему прокатування, беручи до уваги наступне: перші проходи у вертикальних і горизонтальних валках здійснюють для ламання окалини і для вирівнювання розмірів відливки.

$$\Delta h_1 = (10-15\%) \Delta h_{\text{max}}, \text{ іноді } \Delta h_1 = 25\% h_{\text{max}}$$

Прийmemo  $\Delta h_1 = 50 \text{ мм}$

Дані розрахунків зведено в табл. 9.1

**Таблиця 9.1 - Геометричні параметри розкату в процесі обтискування по проходам**

№ прохода	Горизонтальні валки			Вертикальні валки			Довжина розкату $l$ , мм
	$h$	$\Delta h$	$\Delta b$	$l_{\text{в}}$	$\Delta h_{\text{в}}$		
1	730	50	10	1550	50		2300
2	680	50	10				
3	630	50	10	1530	40		2400
15	140			1400	40		14200

### Розрахунок температурних режимів прокатування

Для розрахунку температурних режимів скористаємось формулою Тягунова

$$t_i = t_n - \frac{(t_n - t_k) \cdot h_k}{h_n - h_k} \cdot \left( \frac{h_n}{h_{n-1}} - 1 \right),$$

де:

$t_n$  – температура початку прокатування, приймаємо,  $t_n = 1200^\circ\text{C}$ ;

$t_k$  – температура кінця прокатування;  $t_k = 900^\circ\text{C}$ ;

$h_n = 780 \text{ мм}$  – початкова товщина розкату;

$h_k = 140 \text{ мм}$  – кінцева товщина розкату;

$h_{ni}$  – товщина розкату перед  $i$ -тим проходом;

Отже

$$t_2 = 1200 - \frac{(1200 - 900) \cdot 140}{780 - 140} \cdot \left( \frac{780}{730} - 1 \right) = 1195,5^\circ\text{C}$$

Аналогічні розрахунки проводимо і для наступних проходів (табл. 9.2).

Можна скористатись і іншими методами. [1,11,14]

Таблиця 9.2 - Температура розкату по проходам

№ проходу	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
t°С по переходам	1200	1195,5	1190,3	1184,4	1177,3	1169	1130	1146,5	1130	1110,3	1082,8	1043	981	945,6	899,9

Таблиця 9.3 - Коефіцієнт тертя по проходам

№ проходу										0	1	2	3	4	5
Коеф. Тертя Г.В	0,3174	0,3480	0,3480	0,3989	0,3989	0,3502	0,3572	0,3424	0,3424	0,3943	0,3943	0,4043	0,4053	0,4809	0,5191
Коеф. тертя В.В	0,3174		0,3500		0,3471		0,3502	0,3424		0,4052		0,4043		0,4212	0,3424

### Розрахунок коефіцієнтів тертя

Скористаємося формулою Грудєва [11,стр.119]

$$f_i = k_u \cdot k_b \cdot k_l (1,05 - 0,0005t_i),$$

де:

$k_u, k_b, k_l$  - коефіцієнти, які залежать від швидкості, температури прокатування і ступеню деформування  $k_u=1,35; k_b=0,55; t_i=0,095$  (див. вище)

$$f_i = 1,35 \cdot 0,55 \cdot 0,95 (1,05 - 0,0005 \cdot 1200) = 0,3174$$

Значення результатів розрахунків наведено в таблиці 9.3

### Розрахунок максимальних кута захвату і величини абсолютного обтискування

Кут захвату:

$$\alpha_{max} = \arctg f$$

абсолютна величина обтискування

$$\Delta h = \alpha_{\max}^2 \cdot R$$

Результати розрахунків зведені в таблицю 9.4.

**Таблиця 9.4 - Значення кута захвату і обтискувань по проходам**

№ прохода	1	2	3	4	5	6	7	8
$\alpha_{\max}$	0,3351	0,3348	0,3366	0,3795	0,3333	0,3368	0,3436	0,3298
	0,3073		0,3348		0,3795		0,3368	
$\Delta h_H$	54,3	64,4	65,1	82,8	63,8	65,2	71,9	62,5
$\Delta h_I$	41,5		50,4		64,8		51	
№ прохода	9	10	11	12	13	14	15	
$\alpha_{\max}$	0,3351	0,3755	0,3849	0,3842	0,3850	0,3639	0,3986	
	0,3073		0,3755		0,3842			
$\Delta h_H$	64,5	81	85,1	84,8	85,2	76,1		
$\Delta h_I$	48,9		63,4		67,8		71,5	

Аналіз табличних даних свідчить, що назначені нами величини абсолютного обтискування не перевищують максимально можливих і процес прокатування буде стійким.

### **Розрахунок кінематичних параметрів процесу прокатування**

Кут захвату буде дорівнювати

$$\alpha = \sqrt{\frac{\Delta h}{R}}$$

Величину нейтрального кута визначаємо по формулі Екелунда – Павлова [17].

$$\gamma = \frac{0,5\alpha}{1 - \alpha} \cdot 2f$$

Випередження, яке має місце при прокатуванні

$$S = \gamma \cdot \frac{R}{hi}$$

Середня товщина підкату

$$h_{epi} = \sqrt{hi \cdot h_{i-1}}$$

Величина відносного обтискування

$$\varepsilon = \frac{\Delta h}{h_{epi}}$$

Довжина вогнища деформації:

$$l_{\delta} = \sqrt{R \cdot \Delta h}$$

Визначаємо параметр, який характеризує геометричні умови проходу в зоні деформації  $1/h_{cp}$

Обчислимо швидкість прокатування

$$V = V_B (1+S)$$

Обчислюємо швидкість деформації по формулі Целікова [17]

$$U = \frac{V}{l_{\delta} \cdot \varepsilon}$$

Дані розрахунків зведено в таблицю 9.5

**Таблиця 9.5 - Геометричні параметри вогнища деформації**

$\xi_i$	$\alpha_n$	$\gamma_n$	$s_n$	$h_{epn}$	$\varepsilon_n$	$l_{\delta n}$	$l_{\delta n}$	$V_n$	$U_B$
	$\alpha^{OB}$	$\gamma_B$	$s_B$	$h_{epB}$	$\varepsilon_B$	$l_{\delta B}$	$l_{\delta B}$	$v_n$	$U_n$
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>
	16,8	0,078	0,0047	754,5	0,066	169,5	0,22	2,009	0,77
	19	0,079	0,0081	1574,8	0,031	150	0,095	2,0036	0,41
	16,8	0,085	0,0061	704,2	0,07	169,5	0,24	2,012	0,82
	16,8	0,085	0,0065	654,2	0,076	169,5	0,26	2,013	0,89
	17	0,085	0,002	1549,8	0,025	134,1	0,086	2,004	0,371
	16,8	0,092	0,0083	604,4	0,082	169,5	0,28	2,016	0,96
	16,8	0,084	0,0076	554,4	0,09	169,5	0,30	2,015	1,06
	17	0,093	0,0025	1529,8	0,026	134,1	0,087	2,005	0,38

Продовження таблиці 9.5

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	16,8	0,085	0,0086	504,3	0,099	169,5	0,33	2,017	1,16
	16,8	0,086	0,0098	454,2	0,110	169,5	0,37	2,019	1,29
	17	0,085	0,0021	1509,8	0,026	134,1	0,088	2,004	0,38
	16,8	0,083	0,0104	404,2	0,123	169,5	0,41	2,02	1,45
	16,8	0,085	0,0125	354,1	0,141	169,5	0,47	2,025	1,65
	17	0,084	0,0021	1469,8	0,026	134,1	0,09	2,005	0,38
0	16,8	0,092	0,0173	303,9	0,164	169,5	0,55	2,034	1,53
	16,8	0,147	0,054	253,7	0,197	169,5	0,66	2,108	2,32
1	17	0,092	0,0025	1449,8	0,027	134,5	0,091	2,005	0,4
2	16,8	0,147	0,069	203,4	0,245	169,5	0,83	2,138	2,89
	10,6	0,186	0,124	169,7	0,117	107,2	0,63	2,248	2,18
3	17	0,094	0,0027	1449,8	0,027	134,1	0,092	2,005	0,4
4	10,6	0,14	0,08	149,6	0,133	107,2	0,71	2,16	2,48
5	17	0,096	0,0028	1419,8	0,028	134,1	0,094	2,005	0,41

### Розрахунок енергосилових параметрів прокатування

Середнє значення межі текучості в зоні деформування залежить від конкретних умов прокатування:

$$\sigma_m = 1,15 \cdot \sigma_0 \cdot \kappa_t \cdot \kappa_u \cdot \kappa_b, \text{ МПа, де}$$

$\sigma_0$  - базисне значення межі текучості;  $\sigma_0 = 86$  МПа

$\kappa_t$ ,  $\kappa_u$ ,  $\kappa_b$  - термомеханічні коефіцієнти, які враховують, відповідно,  $t^\circ$ , ступінь деформації і швидкість деформації [16,17],  $\kappa_t = 1,35$ ;  $\kappa_u = 0,55$ ;  $\kappa_b = 0,95$

Середнє значення контактного тиску:

$$P_{ep} = \sigma_\tau \cdot 0,5 \left( \frac{l_{\partial i}}{h_{epi}} + \frac{l_{\partial i}}{l_{\partial i \text{ пер}}} \right), \text{ МПа}$$

де  $l_{\partial}$  - довжина вогнища деформації,  $h_{ep}$  - середнє значення товщини розкату, обчислене вище (таблиця 11.5)

Зусилля прокатування

$$P = P_{ep} \cdot \ell_{\partial} \cdot \epsilon_i M H, \text{ де}$$

$P_{ep}$  – середнє значення контактного тиску, МПа;

$\ell_{\partial}$  - довжина зони деформації, м;

$\epsilon_i$  - ширина розкату, м.

Момент прокатування визначаємо по формулі

$$M_{np} = 2 \cdot P \cdot \psi \cdot \ell_{\partial}, \text{ де}$$

$\psi$  – коефіцієнт плеча прикладання зусилля прокатування, приймаємо ( $\psi \approx 0,43 \div 0,5$ );  $\psi = 0,5 [1,2,10]$

Дані розрахунків зведені в таблицю 9.6

Наведені в таблиці 9.6 результати розрахунків свідчать, що електродвигуни не перевантажуються:

**Таблиця 9.6 - Енергосилові параметри прокатування**

№ проходу	$\sigma_{тн}$ МПа	$\sigma_{тв}$ МПа	$P_{срн}$ МПа	$P_{срв}$ МПа	$P_n$ МПа	$P_v$ МПа	$M_{рн}$ кНм	$M_{рв}$ кНм
1	69,7	69,7	166	370,1	43,6	43,3	7,39	6,4
2	76,1		167,6		44,3		7,5	
3	76,1	76,1	156,2	445,7	41,5	40,6	7,03	5,44
4	74,4		143,2		37,3		6,32	
5	74,4	74,4	135,1	430,8	35,4	33,5	6,00	4,49
6	70,4		118,2		30,4		5,15	
7	75,2	75,2	115,1	430,5	29,9	27,7	5,06	3,71
8	71		101,1		25,7		4,35	
9	71	71	92,2	397,6	23,5	20,2	3,98	2,7
10	78,8		93,3		23,4		3,96	
11	74,1	74,1	80,5	410,1	23,4	15,3	3,44	2,05
12	75,6		76,9		20,3		3,22	
13	71,6	75,6	79,3	414,3	19	10	1,32	1,34
14	65,2		69		12,4		1,13	
15		69,4		372,4	10,6	6,9		0,92

### Перевірка валків на міцність

Перевірочний розрахунок полягає у визначенні максимального діючого зусилля у валках (таблиця 9.6) і порівнянні його з можливим,

яке визначається матеріалом валка та його геометричними параметрами, тобто

$$P_0 < [P]$$

де

$$[P] = \frac{0,4 \cdot D^3 [\sigma_{32}]}{L_0 + l_{ш} - 0,5 \cdot B}, \text{ де}$$

$D$  - діаметр бочки валка, мінімальний, м;  $D=1100$  мм

$[\sigma_{32}]$  - допустима межа на згинання, для сталі **50XH** (матеріал валків)

$$[\sigma_{32}] = 140 \text{ МПа}$$

$L_0$  - довжина робочої зони валка, м

$$L_0 = 1900 \text{ мм}$$

$l_{ш}$  - довжина шийки валка, м;

$$l_{ш} = (1,0 \div 1,5)D; \text{ приймаємо } l_{ш} = 1100 \text{ мм}$$

$B$  - ширина сляба, м;  $B=1400$  мм

$$[P]_n = \frac{0,4 - 1,1^3 \cdot 140}{1,9 + 1,1 - 0,5 \cdot 1,4} = 50 M_n$$

Для вертикальних валків

$$D=810 \text{ мм}; L_0=1900 \text{ мм}; L_{ш}=900 \text{ мм}; B=780 \text{ мм.}$$

$$[P]_e = 0,4 \cdot 0,81^3 \cdot 140 / 1,9 + 0,9 - 0,5 \cdot 0,78 = 49 \text{ МН}$$

Перевірка міцності валків по шийкам

$$P_{ш} = \frac{0,4 d_{ш}^3 \cdot \sigma}{\sqrt{l_{ш} + R \cdot \Delta h}}, \text{ де}$$

$d_{ш} = (0,6 \div 0,75)D_0$ , діаметр шийки валка

Приймаємо  $d_{шн} = 0,6$  м;  $d_{ше} = 0,54$  м;

Тоді

$$[P]_{шн} = \frac{0,4 \cdot 0,6^3 \cdot 140}{\sqrt{1,1 + 0,575 \cdot 167,6}} = 117,8 M_n$$

$$[P]_{ше} = \frac{0,4 \cdot 0,54^3 \cdot 140}{\sqrt{1,1 + 0,45 \cdot 131,2}} = 83,8 M_n$$

Порівняння вказаних даних і табличних значень (таблиця 9.6), показують, що технологічні зусилля менші допустимих. Отже режими вибрані правильно.

## 9.2 Розробка режимів прокатування гарячекатаної смуги

Розрахувати режими прокатування гарячекатаної смуги перетином  $1,8 \cdot 1400$  мм, масою  $7,5$  т зі сталі  $1X13$  ( $C=0,1\%$ ,  $Si=0,6\%$ ;  $Mg=0,6\%$ ;  $Gr=12\%$ ) на стані ГПТЛ 1700.

Стан складається з двох груп клітей – чорнової, в складі Дуо – окалиноломач, чотирьох робочих кварто, і трьох вертикальних, розташованих між робочими. Чистова група складається з чистового окалиноломач (дуо) і шести клітей кварто.[2,10,13]

Згідно з [1,11,14] технологією прокатування на безперервних станах ГПТЛ розробляють окремо для чорнової і чистової груп клітей, виходячи з того, що підкат для чистової групи повинен, з метою спрощення налагодження стану і керованості процесом, мати товщину  $20 \div 30$  мм.

Оскільки задана маса готового рулона, то маса слябу буде дорівнювати

$$G_{cl} = G_{рул} \cdot m, \text{ де}$$

$m$  – коефіцієнт фабрикації,  $m=1,08$  [11],

$$\text{Отже } G_{cp} = 7,5 \cdot 1,08 = 8,1 \text{ т}$$

Об'єм сляба  $V_{cp} = G_{cp} / \rho$ , де

$\rho$  – питома вага сталі 1X13,  $\rho=7,9 \text{ т/м}^3$

$$V_{cl} = \frac{8,1}{7,9} = 1,02 \text{ м}^3$$

Якщо прийняти товщину підкату перед чистовою групою  $20$  мм і рекомендації в [11] абсолютних обтискувань в чорнових клітях за схемою 22–40–22–21–12, то товщина слябу, буде дорівнювати

$$B'_{cl} = 117 + 20 = 137 \text{ мм, приймасмо } B_{cl} = 140 \text{ мм.}$$

Довжина слябу буде дорівнювати:

$$L_{cl} = \frac{V_{cl}}{H_{cl} \cdot B_{cp}} = \frac{1,02}{0,14 \cdot 1,4} = 5,2 \text{ м}$$

Таким чином сляб має наступні параметри :

$$G_{cl}=8,1m, L_{cl}=5,2m, B_{cl}=1,4m, H_{cl}=0,14m$$

Можливі і інші варіанти розподілу обтискувань в чорновій групі клітей.

Вище розглянута чорнова група з послідовним режимом прокатування, тому методи розрахунків можуть бути аналогічними тим, які наведені в додатку 1.

Розділимо чорнову групу на дві безперервні групи 1 – Дуо-окапиноломач, № 1, 2 – кліті 2,3,4.

Температурний режим прокатування в чорновій групі беремо в межах

$$1060^{\circ} < t^{\circ} < 1220^{\circ}C$$

Температуру розкату в кожній з клітей беремо опосередковано:

Дуо -  $1195^{\circ}C$ ; №1 -  $1190^{\circ}C$ ; №2 -  $1180^{\circ}C$ ; №3 -  $1150^{\circ}C$ ; №4 -  $1120^{\circ}C$ .

Коефіцієнт тертя визначаємо у відповідності з формулою Целікова

$$f=1,05 - 0,005t - 0,056V, \text{ де}$$

$V$  – швидкість прокатування, м/с

Середні значення швидкостей прокатування в м/с, згідно з характеристикою стана дорівнюють (див. додатки)

Дуо –  $0,67$ ; №1 –  $1,02$ ; №2 –  $1,04$ ; №3 –  $1,72$ ; №4 –  $2,75$ .

Обчислені значення коефіцієнта тертя наведені в таблиці 9.7

**Таблиця 9.7 - Параметри прокатування по чорновим клітям**

№ кліті	Дуо	1	2	3	4
$f$	0,415	0,398	0,402	0,268	0,226
$\alpha_{\text{max}}$ , рад	0,393	0,379	0,382	0,262	0,222
$\Delta h_{\text{max}}$ , мм	62,55	63,20	56,91	22	14
$\Delta h_{i \text{ p}}$ , мм	34,25	50,69	54,80	54,8	54,8
$\Delta h$ , мм	22	40	22	21	12
$L_i$ , м	6,11	9,4	13,2	21,85	35
$v_p$ , м/с	0,67	1,02	1,04	1,72	2,75
$\tau_c$	9,16	9,2	12,69	12,67	12,7
$\Delta t$ C	5,7	8,9	16,9	25,5	37,3

Максимальне значення кута захоплення, обумовлене коефіцієнтом тертя буде дорівнювати  $\alpha = \arctg f$  і наведені в таблиці 9.7

Максимально допустиме значення обтискування, обумовлене кутом захвату приведене в таблиці 9.7

$$\Delta h_{\max} = \alpha^2 \cdot R_p$$

Якщо врахувати рекомендації [10,11,14] то відносні величини деформування можуть бути такими (максимально можливі):

0,25 – 0,37 – 0,4 – 0,4 – 0,4, а абсолютні значення можуть бути обчислені:

$$\Delta h_{ip} = \Delta h_{\Sigma} \cdot \varepsilon_i$$

Обчислені значення наведені в таблиці 11.7

В чорновому окалиноломачі рекомендується  $\varepsilon \approx 5 - 20\%$ .  
Приймаємо:

$$\varepsilon_{до} = 16\%, \Delta h_0 = 22 \text{ мм} < \Delta h_{\max} < \Delta h_{ip}$$

В клітях зробимо такий розподіл обтискувань:

$$\varepsilon_1 = 34\%; \varepsilon_2 = 19\%; \varepsilon_3 = 18\%;$$

Тоді:

$$\Delta h_1 = 40 \text{ мм}; \Delta h_2 = 22 \text{ мм}; \Delta h_3 = 21 \text{ мм}$$

$$\Delta h_4 = \Delta h_{\Sigma} - \Delta h_1 - \Delta h_2 - \Delta h_3 = 137 - 22 - 40 - 22 - 21 = 12 \text{ мм}$$

Звідки:

$$\varepsilon_4 = \frac{\Delta h_4}{\Delta h_{\Sigma}} = \frac{12}{137} \approx 10\%$$

Дані  $\Delta h$  зведено в таблицю 9.7

Довжина розкату після кожної кліті  $L_i = \frac{V}{h_i B}$ , дані зведено в таблицю 9.7

Враховуючи постійність секундних об'ємів

$$v_i b_i h_i = \text{const.}$$

Обчислимо швидкість по клітям.

Швидкість в кліті Дуо підстроюємо в залежності від кліті № 1, а кліті 3,4 – від кліті № 2.

Швидкість в кліті №1

$$V_1 = \frac{\pi \cdot R \cdot n}{30}, \text{ де}$$

$R$ - радіус бочки валка,  $R=405 \text{ мм}$  [13]

$n$ - кутова швидкість валка, об/хв.,  $n=22,2$  [13]

$$V_1 = \frac{3,14 \cdot 0,440 \cdot 22,2}{30} = 1,02_{\text{м/с}}$$

В кліті Дуо  $v_3=0,67 \text{ м/с}$

Аналогічно ведемо розрахунки і для другої підгрупи, зводячи розрахунки в таблиці 9.7

Скоректуємо знайдені значення швидкостей з врахуванням упередження за формулою Екелунда [1,5,11]

$$S = \frac{\gamma^2 \cdot d_i}{2 \cdot h_i} - 1, \text{ де}$$

$\gamma$ - нейтральний кут

$h_i$ - товщина розкату в проході

$$\sin \gamma = \frac{\sin \alpha_3}{2} - \frac{1 - \cos \alpha_q}{2f}, \text{ тут}$$

$\alpha_\delta$ - дійсний кут захвату метала валками,

$$\alpha_\delta = \sqrt{\frac{\Delta h_i}{R}}$$

Радіуси валків:  $R_0=405 \text{ мм}$ ;  $R_1=440 \text{ мм}$ ;  $R_2=390 \text{ мм}$ ,  $R_3=290 \text{ мм}$ ;  $R_4=290 \text{ мм}$ .

Для підгрупи клітей Дуо - №1:

$$\alpha_\delta = \sqrt{\frac{22}{405}} = 0,233; \sin \gamma = \frac{\sin(0,233)}{2} - \frac{1 - \cos(0,233)}{2 \cdot 0,415} = 0,083$$

$$S_1 = \frac{0,083 \cdot 0,810}{2 \cdot 0,115} - 1 = 0,02$$

$$V = 0,67(1 + 0,02) = 0,69 \text{ м/с}$$

У другій підгрупі

$$\alpha_3 = \sqrt{\frac{\Delta h_i}{R_3}} = \sqrt{\frac{21}{290}} = 0,286 \text{ рад}$$

$$\alpha_4 = \sqrt{\frac{12}{290}} = 0,255 \text{ рад}$$

$$\sin\gamma_3 = 0,066; \sin\gamma_4 = 0,056$$

$$S_3 = \frac{0,66^2 \cdot 0,58}{2 \cdot 0,032} - 1 = 0,04$$

$$S_4 = \frac{0,56^2 \cdot 0,58}{2 \cdot 0,02} - 1 = 0,04$$

$$v_3 = 1,72(1+0,04) = 1,79 \text{ м/с}$$

$$v_4 = 2,75(1+0,04) = 2,86 \text{ м/с}$$

Розрахунок енергосилових параметрів режиму прокатування, як у чорновій групі клітей, так і в чистовій проводиться аналогічно прикладу 1.

Розрахунок температурного режиму прокатування проводимо тільки з врахуванням витрат тепла на випромінювання, або випромінювання і конвекцію, скориставшись формулою Іванцова [2]

$$\Delta t = T_o - \frac{1000}{\sqrt[3]{\frac{1000}{\left(\frac{T_o}{100}\right)^3 + 0,055 \frac{\tau}{h}}}}, \text{ де}$$

$T_o$  – температура початку охолодження в градусах,  $K^\circ$ .

$\tau$  – тривалість охолодження,  $C^\circ$

$h$  – товщина розкату.

Тривалість знаходження розкату в кліті

$$\tau_i = \frac{L_i}{v_i}$$

Дані розрахунків приведені в таблиці 1.

Підставляючи отримані дані обчислюємо падіння температури по проходам і зводимо в таблицю 9.7.

Розрахунок абсолютних значень обтискування в чистовій групі клітей проводимо з врахуванням наступного:

- температура підкату не нижче  $1050^\circ C$ ;
- температура кінця прокатування -  $950^\circ C$

- потужність, що витрачається на прокатування у перших чотирьох клітках однакова, а в останніх двох складає 0,75N і 0,68N.

Величина абсолютної товщини підкату по кліткам визначається за формулою Екелунда:

$$h_i = \frac{h_n \cdot h_k}{(v_i \cdot h_n^m + (1 - v_i) h_k^m)^{1/m}}, \text{ де}$$

$h_i$  - товщина смуги на виході з  $i$  ої кліті, мм;

$h_n$  – товщина підкату перед чистовою групою, мм,

$h_k$  – кінцева товщина смуги, мм.

$v_i$  - коефіцієнт завантаження клітей [к,с,],

$m$  – коефіцієнт, поправочний

$$m = 0,3 + \frac{0,21}{h_k} = 0,3 + \frac{0,21}{1,8} = 0,41$$

Приймаємо

$$v_5=0,149; v_6=0,331; v_7=0,555; v_8=0,736; v_9=0,874; v_{10}=1$$

Тоді будемо мати для кожної кліті, підставляючи дані у вище наведену залежність:

$$h_5 = 12,08 \text{ мм}; h_6 = 7,5 \text{ мм}; h_7 = 3,84 \text{ мм};$$

$$h_8 = 2,24 \text{ мм}; h_9 = 2,08 \text{ мм}; h_{10} = 1,8 \text{ мм}.$$

Інші параметри режимів прокатування у чистовій групі обчислюємо аналогічно з вище наведеними розрахунками.

При обчисленні середнього значення контактного тиску у чистовій групі для врахування натягування смуги можна скористатись наступною залежністю:

$$P_{cpn} = P_{cp} \left( 1 - \frac{q_o + q_i}{2 P_{cp}} \right),$$

де:

$q_o$  – переднє натягування смуги, МПа

$q_i$  – заднє натягування смуги, МПа

$P_{cp}$  – середнє значення контактнoго тиску, обчислене без врахування натягування, МПа.

В чистовій групі в 5<sup>й</sup> кліті заднє натягування відсутнє, а переднє незначне і ним можна знехтувати, а в інших клітках воно підлягає

обчисленню. Згідно з рекомендаціями [1,11] приймемо наступні величини переднього і заднього натягувань.

**Таблиця 9.8 – Значення переднього та заднього натягувань по клітках**

Кліть	6	7	8	9	10
$q_0$ , МПа	1,7	4,3	5,2	9,4	4,6
$q_i$ , МПа	4,3	5,2	9,4	4,6	0

Вибрані значення не перевищують рекомендованих значень  $q=(0,2\div 0,5)\sigma_r$ .

Параметри для прокатування, розраховані для чистої групи слід звести в відповідну таблицю і зробити аналіз отриманих даних.

### **9.3 Розробка режимів прокатування холоднокатаної смуги**

Обчислити режими прокатування смуги перетином **1,0-1500** зі сталі **08Ю**, рулоном масою **10т**.

Прокатування можна вести на п'ятиклітєвому стані **1700**, у якого всі кліті кварто, з діаметром робочих валків  $D_p=600$  мм, опорних,  $D_{on}=1500$  мм, максимальна швидкість прокатування – **25м/с**, довжина бочки валка – **1700 мм**, режим роботи – безперервний.

Сталь 08Ю має наступний хімічний склад:

**$C - 0,17\%$ ;  $Mn - 0,3\%$ ;  $S - 0,05\%$ ;  $Si - 0,17\%$ ;  $Al - 0,05\%$ ;**

**$P - 0,01\%$ ;  $As - 0,08\%$ .**

Товщину прокату обчислюємо згідно з залежністю:

$$h_n = \frac{h_k}{1 - \varepsilon_\Sigma}, \text{ де}$$

$h_k$  – товщина готового прокату

$\varepsilon_\Sigma$  – сумарне значення величини відносного обтискування.

Згідно з [11] найкращі механічні властивості холоднокатаної сталі можна отримати при сумарному відносному обтискуванні  $\approx 70\%$ ,

Тоді

$$h_n = \frac{1,0}{1 - 0,7} = 3,3 \text{ мм}$$

При виборі схеми обтискувань по проходам будемо орієнтуватись на схему з послідовним зменшенням відносного обтискування від першої до останньої клітей [11, стор.46]. Це забезпечить майже рівномірне завантаження клітей по зусиллю і витраченій потужності, оскільки зменшення обтискування, компенсує зростання контактного тиску в зв'язку з загартовуванням металу та зменшенням його товщини.

У відповідності з [1,10] приймаємо наступну схему прокатування:

$$3,30 - 2,55 - 1,90 - 1,40 - 1,09 - 1,00$$

Маючи ці дані неважко підрахувати значення абсолютних і відносних величин обтискування по клітям:

$$\Delta h_i = h_o - h_i; \varepsilon_i = \frac{\Delta h_i}{h_o}$$

Максимально можливий кут захоплення металу буде дорівнювати

$$\alpha_i = \arccos\left(1 - \frac{\Delta h_i}{D_{\text{мін}}}\right), \text{ де}$$

$D_{\text{мін}}$  – мінімальний діаметр валка після переточки

Обчислені параметри зведено в таблицю 9.8

При холодному прокатуванні важливе значення має вибір мастила. Його використовують у суміші з водою (водна емульсія). Це дозволяє проводити змащування поверхонь контакту, вимивати механічні частки з зони деформування, виносить тепло, яке утворюється в вогнищі деформації. Одночасно це приводить до зменшення коефіцієнта тертя в межах від **0,04 до 0,08**, тобто максимально можливе значення кута тертя буде дорівнювати

$$\alpha = \arctg \mu = 2,3^\circ \div 4,6^\circ$$

Таким чином обчислені кути захвату не перевищують максимально можливих значень, які мають місце у випадку використання мастила захват полоси буде здійснюватись стійко і без пробуксовування.

Оскільки швидкість прокатування регулюється, то приймемо її **8,5 м/с**

Отже виходячи з рівності секундних об'ємів по клітям обчислюємо швидкість в 1 – 4 клітях:

$$V_{cp} = \frac{V_{\kappa} - h_{\kappa}}{h_i}$$

Дані швидкостей по клітям наведено в таблиці 9.9

Дійсну швидкість обчислимо[14] по залежності  $V_e = \frac{V_{ip}}{1,05}$ ; і

занесемо в таблицю 9.9

Визначимо коефіцієнт тертя при усталеному процесі прокатування згідно з залежністю[17,8]

$$f_y = \frac{K_{cm} \cdot [1 + (0,4 + 0,01\varepsilon) \cdot R_z]}{1 + 0,25 \cdot \sqrt{W_n} + 0,005 \cdot W_m} \cdot \left[ 0,007 - \frac{0,01V_i^2}{2 \cdot (1 + V_i) + 3 \cdot V^2} \right];$$

де:

$K_{cm}$ - коефіцієнт, що враховує тип мастила ( для емульсії  $K_{cm}=1,4$ )

$\varepsilon$  – відносне обтискування

$R_z = 1,25 \text{ мм}$  – висота нерівностей на поверхні валків

$W_m$  – кінематична в'язкість мастила при  $50^\circ\text{C}$ ,  $w_m=20 \text{ мм/с}$

$v_i$  – швидкість лінійна валка, м/с

Підставляючи ці значення у формулу обчислюємо усталені коефіцієнти тертя і заносимо в таблицю 9.9

Кут захвату метала валками при усталеному коефіцієнті тертя:

$$\alpha_{maxy} = 2 \cdot \arctg f_y$$

Результати обчислень представлені в таблиці 9.9

Збільшення ширини смуги по проходам обчислюємо по формулі Губкіна [2,8]

$$\Delta b = \left( \frac{1 + \Delta h}{h} \right) \cdot \left( f_y \cdot \sqrt{R} \cdot \Delta h - \frac{\Delta h}{2} \right) \cdot \frac{\Delta h}{h},$$

де:

$R$  – мінімальний радіус вала кліті; мм

$\Delta h$ - абсолютне значення обтискування, мм

$h$  – товщина підкату в м.

Обчислюємо для кожної з клітей і заносимо в таблицю 9.9

Сумарне значення збільшення ширини стрічки буде складати

$$\Delta b_{\Sigma} = \Sigma \Delta b_i = 0,19 + 0,17 + 0,14 + 0,11 + 0,01 = 0,61 \text{ мм}$$

Оскільки ця величина незначна, то в подальших розрахунках її можна не враховувати.

Середні значення відносного обтискування обчислюємо за формулою

$$\varepsilon_{cp} = 0,4 \cdot \varepsilon_{i-1} + 0,6 \varepsilon_i$$

і зносимо в таблицю 9.9

**Таблиця 9.9 - Кінематичні параметри холодного прокатування**

№ кліті	1	2	3	4	5
$\Delta h_{i, мм}$	0,75	0,65	0,5	0,31	0,09
$\varepsilon_i$	22	25	26	22	8
$\alpha_{град}$	3°25'	3°02'	2°65'	2°09'	1°12'
$v_{ip} \text{ М/С}$	3,34	4,48	6,05	7,8	8,5
$v_v$	3,18	4,26	5,78	7,4	8
$f_v$	0,072	0,076	0,07	0,072	0,04
$\alpha_{vmax}$	8°23'	8°69'	8°	8°23'	4°34'
$\Delta B_i$	0,19	0,17	0,14	0,11	0,01
$\varepsilon_{срi} \%$	13,2	23,8	25,6	23,6	13,6

### Розрахунок енергосилових параметрів для холодного прокатування

Знаходимо середнє значення межі текучості з врахуванням загартовування:

$$\sigma_{\tau_{срi}} = \sigma_{тек} + A \cdot \sqrt{\varepsilon_{срi}}, \text{ де}$$

$\sigma_{тек}$  - початкове значення межі текучості для сталі **08Ю**,  $\sigma_{мех} = 250 \text{ МПа}$ ;  $A$  – емпіричний коефіцієнт, для сталі **08Ю**,  $A = 50$  [11]. Підставляємо необхідні значення у цю формулу і результати обчислень заносимо у таблицю 9.9.

Обчислюємо межу текучості у вогнищі деформації з врахуванням схеми деформації та швидкості деформації

$$\sigma_{mi}^* = \sigma_{срi} k_t \cdot k_u, \text{ де}$$

$k_t$  - коефіцієнт, який враховує схему навантаження,  $k_t = 1,2$  [16,17];

$\kappa_u$  – температурно–швидкісний поправочний коефіцієнт,

$$\kappa_u = 1,1 - 1,2.$$

Обчислимо межу текучості вогнища деформації і заносимо результат в таблицю 9.10.

По формулі Зикова обчислюємо довжину (сплющену) вогнища деформації:

$$\ell_{qi} = C_1 + \sqrt{\frac{R - \Delta h \cdot A_i}{A_i - B_i + C_1^2}},$$

де:

$R$  – радіус валка;

$A, B, C$ , - умовні параметри

$$A_i = \frac{9500}{1,5 \sigma_{\Sigma i}},$$

$$B_i = \frac{2}{3} \cdot f_y \cdot \frac{D}{h_i}; \text{ тут } D=510 \text{ мм.}$$

$$C_i = \frac{R}{A_i} - B_i \cdot \left(1 - \frac{\Delta h_i}{3h_i}\right);$$

Обчислюючи допоміжні величини  $A, B, C$  і підставляючи їх у формулу для визначення  $\ell_{\delta}$  і знаходимо останню. Отриманні значення заносимо в таблицю 9.10.

Обчислюємо значення середнього контактного тиску:

$$P'_{cp} = 1,15 \cdot \sigma_{\tau} \cdot \left(1 + \frac{2 \cdot f_y \cdot \ell_{ai} - \Delta h_i}{3 \cdot h_i}\right)$$

і заносимо в таблицю 9.9

Враховуємо натягування, яке штучно створюємо для якісного прокатування:

$$P_{cp} = P'_{cp} \cdot \left(1 - \frac{q_o + q_i}{2 \cdot P_{cp}}\right), \text{ де}$$

$(q_o + q_i)$  – величина натягування між клітями. [11].

Натягування перед першою і після останньої кліті утворюється за рахунок моталок.

Маємо по клітям:

- 1  $(q_o+q_i)_1=200 \text{ МПа}$
- 2  $(q_o+q_i)_2=180 \text{ МПа}$
- 3  $(q_o+q_i)_3=160 \text{ МПа}$
- 4  $(q_o+q_i)_4=140 \text{ МПа}$
- 5  $(q_o+q_i)_5=100 \text{ Мпа}$

Маючи всі необхідні величини обчислюємо діючий середній питомий тиск на валках і заносимо в таблицю 9.10.

За наведеними вище залежностями обчислюємо зусилля прокатування, дані заносимо в таблиці 9.10

При обчисленні моменту прокатування скористаємось залежністю для обчислення коефіцієнта плеча

$$\psi = 0,294 - 0,525 \cdot \frac{\ell_{зк}}{\ell_{аі}}, \text{ де}$$

$\ell_{зк}$  – частина дуги, яка знаходиться за вісевою лінією валків

$$\ell_{зк} = m \cdot R \cdot P_{cp}, \text{ тут}$$

$m=1,12 \cdot 10^{-5} \text{ МПа}$ , коефіцієнт механічних властивостей валків;

$R= 255 \text{ мм}$  – радіус бочки валка.

Обчислюємо цю величину і її значення заносимо в таблицю 9.10.

Підраховуємо коефіцієнт плеча (дані розрахунків заносимо у таблицю 11.9.)

Обчислюємо момент прокатування в кожній кліті, по залежності наведеній вище, дані заносимо в таблицю 9.9.

Момент сил тертя в підшипниках опорних валків, приведений до робочого обчислюємо по формулі

$$M_{mpon} = P_i \cdot f_i \cdot d_{on} \cdot \frac{D}{D_{on}}, \text{ де}$$

$f$ - коефіцієнт тертя в опорах,  $f=0,03$

$d_{on}$  – діаметр шийки опорного валка,

$D, D_{on}$  – діаметр бочки, робочого і опорного валків, відповідно характеристики стана (див. додаток А)

Результати розрахунків приведено в таблиці 9.10.

Обчислюємо момент додаткових сил тертя в передавальних механізмах головних ліній клітей, та моменти холостого ходу механізмів головної лінії:

$$M_{\text{трг}} = \left[ \frac{1}{\eta_{\Sigma}} - 1 \right] \cdot (M_{\text{кр}} + M_{\text{крл}}),$$

де  $\eta_{\Sigma}$  – сумарний *к.к.д* головної лінії:

Кожен з робочих валків має індивідуальний привод від двигуна через шестеренну кліть і універсальний шпindel, тоді  $\eta_{\Sigma} = \eta_{\text{шк}} \cdot \eta_{\text{шп}}$ , тут

$$\begin{aligned} \eta_{\text{шк}} &= 0,92 \div 0,95; \\ \eta_{\text{шп}} &= 0,99 \\ \eta_{\Sigma} &= 0,95 \cdot 0,99 = 0,941 \end{aligned}$$

Підставляємо відповідні дані у вище приведену залежність для визначення додаткового моменту тертя і результати обчислень заносимо в таблицю 9.9.

Обчислюємо значення моменту холостого ходу по клітям

$$M_{\text{ххi}} = 0,05 M_{\text{x}}, \text{ тут, згідно з [1,2].}$$

$$M_{\text{x1}} = 290 \text{ кНм}; M_{\text{x2}} = 250 \text{ кНм}; M_{\text{x3}} = 200 \text{ кНм}, M_{\text{x4}} = 150 \text{ кНм};$$

$$M_{\text{x5}} = 160 \text{ кНм.}$$

Результати обчислень наведені в таблиці 11.9.

Обчислюємо момент на валу двигуна:

$$M_{\text{де}} = \frac{\Sigma M_i}{i}, \text{ де}$$

$i$  – передаточне число від двигуна до валків. ( $i=1$ );

Результати обчислень наведені в таблиці 9.10.

Обчислюємо споживну потужність двигунів з врахуванням *к.к.д*.

$$N_q = \frac{M_q \cdot v}{\eta_{\Sigma} \cdot R}, \text{ де}$$

$M_q$  – момент двигуна;

$v$  – лінійна швидкість;

$R$  – радіус валка;

Результати розрахунків наведено в таблиці 9.9.

Номінальне значення потужності електродвигунів для всіх клітей:

$$N_{н1} = N_{н2} = N_{н5} = 4420 \text{ кВт}$$

Коефіцієнт перевантаження дорівнює

$$K_{пер} = \frac{N_q}{N_n}$$

Результати обчислень наведені в таблиці 9.10.

**Таблиця 9.10 - Енергосилові параметри холодного прокатування**

№ кліті	2	3	4	5	6
$\sigma_{т\text{ ср } i}$ МПа	431,65	493,92	502,98	492,89	434,39
$\sigma_{т\text{ с}}^*$ МПа	621,6	711,2	724,2	709,2	625,5
$\ell_{д i}$ мм	16,01	15,58	14,21	12,04	7,04
$p_{ср}$ МПа	860,1	1064,4	1128,1	1171,5	832,7
$p_{ср}$ МПа	760,1	974,4	1048,1	1101,5	787,7
$P$ МН	18,254	22,772	24,472	19,893	8,265
$\ell_{з\text{ с}}$ мм	2,1	2,8	2,9	3,2	2,2
$\Psi_i$	0,22	0,19	0,18	0,15	0,12
$M_{тр i}$ кНм	128,5	141,1	125,1	75,6	15,0
$M_{т\text{роп } i}$ кНм	13,9	17,4	18,7	15,2	6,3
$M_{тв\text{ д}}$ кНм	8,82	9,2	8,91	5,6	1,32
$M_{х\text{ л}}$ кНм	14,5	12,5	10	7,5	8
$M_{дв i}$ кНм	165,72	180,8	162,7	103,9	30,6
$N$ , кВт	240,74	3519,9	4512,7	3513,3	1118,6
$K_{пер}$	0,544	0,79	1,02	0,79	0,25

Аналіз результатів розрахунків, зведених у таблиці 11.9 показує, що прийняті режими обтискування, швидкостей обумовлюють нормальний режим роботи головних ліній клітей у випадку прокатування смуги перетином **1,0-1500** з підкату товщиною **3,3 мм**, шириною **1500мм**.

Розрахунки валків на міцність проводимо так як і в додатку А, з врахуванням того, що робочі валки працюють на скручування, а опорні на згинання.

Крім того робочі валки слід перевірити на контактну міцність

$$p_{конт} \leq [\sigma_{конт}]$$

Матеріал робочих валків – сталь **9ХФ**.

У відповідності з [15 табл. 51] найбільші контактні напруження можна визначити за видозміненою формулою Беляєва – Герца:

При  $R_1 = R_2 = R$

$$\sigma_{\max} = 0,792 \sqrt{\frac{\frac{P}{lR}}{\frac{1-\mu_1^2}{E_1} + \frac{1-\mu_2^2}{E_2}}};$$

при  $E_1 = E_2 = E; \mu_1 = \mu_2 = 0,3$

$$\text{у } \sigma_{\max} = 0,412 \sqrt{\frac{PE}{\ell} \cdot \frac{R_1 + R_2}{R_1 \cdot R_2}};$$

при  $R_1 = R_2 = R$

$$\sigma_{\max} = 0,591 \sqrt{\frac{PE}{\ell R}},$$

де  $P$  – максимальне зусилля прокатування;

$E$  – модуль пружності;

$\ell$  - ширина розкату;

$R$ - радіус робочого валка.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Беняковский М.А., Богоявленский К.Н., Виткин А.И. и др. Технология прокатного производства. В 2-х книгах. Справочник: М., "Металургия". 1991г. – 863 с.
2. Коновалов Ю.В., Налча Г.И., Савранский К.Н. Справочник прокатчика. М., "Металургия". 1977г. – 312 с.
3. Литовченко Н.В. Станы и технология прокатки листовой стали М."Металургия", 1979г. – 272 с.
4. Нагрев слябов и прокатка полос на непрерывном тонколистовом стане горячей прокатки 2000. Технологическая инструкция ТИ. 226 – П.Г.Л – 01 – 94.
5. Технология прокатного производства. Под ред. В.И.Зюзина, А.В.Третьякова. М., «Металургия», 1991г. – 432 с
6. Целиков А.И., Ленков А.В., Теория прокатки. Справочник М., «Металлургия», 1962г. – 324 с.
7. Целиков А.И. Теория расчета усилий в прокатных станах. М. "Металургия", 1964г. – 542 с.
8. Целиков А.И., Никитина Г.С., Рокотян С.Е. Теория продольной прокатки. М."Металургия", 1980г. - 320 с., Учебник для студентов машиностроительных и металлургических вузов.
9. Целиков А.И. Механизмы прокатных станов. М. "Металургия", 1953г. – 460 с.
10. Сафьян М.М. Прокатка широкополосной стали. М. "Металургия", 1969г. – 460 с.
11. Груднев А.П., Машкин Л.Ф., Ханин М.И., Технология прокатного производства. М. "Металургия", 1994г. – 651 с.
12. Динник А.А. Теория прокатки М., "Металургия", 1982г. – 466 с.
13. Кричевский Я.М. Прокатные станы. Номенклатурный справочник М., "Металургия", 1973г. – 346 с.
14. Диомидов Б.Б., Литовченко Н.В. Технология прокатного производства. М., "Металургия", 1979г. – 432 с.
15. Писаренко Г.С., Яковлев А.П., Матвеев В.В. Справочник по сопротивлению материалов. Киев, "Наукова думка", 1975. – 704 с.
16. Целиков А.И., Томленов А.Д., Зюзин В.И., Третьяков А.В., Никитин Г.С., Теория прокатки. Справочник. М., "Металургия", 1982г. – 335 с.

**Додаток А**  
**Технічні характеристики деяких станів**

**Таблиця А.1 - Стани для гарячого прокатування стан 2800**

N кліті	1	2	3
Діаметр валків в мм: робочих опорних	1000 -	1150 -	800 1400
Довжина бочки валків, мм	600	2800	2800
Потужність двигуна, квт	883	2574	5516
Частота обертання об/хв.	150-350	0-30-60	0-60-120
Швидкість прокатування м/с	1,21-3,0	2,35-4,7	2,51-5,02

**Таблиця А.2 - Стан 3600**

N кліті	1 (реверс)	2 (реверс)	3 (вертик)
Діаметр валків в мм: робочих опорних	1130 1800	1030 1800	900 -
Довжина бочки валка, мм	3600	3600	400
Потужність двигуна, квт	2x6920	2x8800	-
Частота обертання об/хв.	0-40-80	0-70-140	-
Швидкість прокатки м/с	4,4	6,0	-

**Таблиця А.3 - Тонколистовий стан 2500**

Параметри N кліті	Діаметр валків в мм	Частота обертання двигуна об/хв.	Потужність двигуна, квт	Частота обертання валка б/хв.
1	110	428	4600	17,4
2	900	428	4600	36,3
3	900	428	4600	45
4	900	428	4600	45
5	900	500÷1000	5000	65/150
6	700	500÷1000	5000	125÷200
7	700	500÷1000	5000	200-245
8	700	500÷1000	5000	250-275
9	700	500÷1000	5000	250-385
10	700	500÷1000	5000	250-410

**Слябінг 1150**

Діаметр бочки горизонтальних валків, мм	1150
Довжина бочки горизонтальних валків, мм	2300
Діаметр бочки вертикальних валків, мм	700
Довжина бочки вертикальних валків, мм	1950
Потужність двигунів горизонтальних валків, квт	2x5000
Потужність двигунів вертикальних валків, квт	2x2000
Швидкість прокатування, м/с (максимальна)	4.8

**Широкосмуговий стан 1700****Чорнова група**

Діаметр валків вертикального окалиноломача, мм	1000
Діаметр валків горизонтального окалиноломача, мм	1000
Довжина валків вертикального окалиноломача, мм	100
Довжина валків горизонтального окалиноломача, мм	1700
Потужність електродвигунів в кожній чорновій кліті	4600
Кількість клітей в чорновій групі	4

**Чистова група**

Число клітей	7
Діаметр валків: робочих валків, мм	7x700
опорних валків, мм	7x1400
Потужність двигунів, квт	7x6000
Максимальна швидкість прокатування стана, м/с	15

**Широкосмуговий стан 2000****Чорнова група**

Кількість клітей	6
Діаметр валків вертикального окалиноломача, мм	1200
Довжина валків горизонтального окалиноломача, мм	3000
Діаметр валка розширювальної кліті, мм	1200
Довжина бочки розширювального валка, мм	2000
Кількість універсальних клітей	4
Діаметр валків універсальних клітей в мм:	
робочих	1200
опорних	1600
Довжина валків робочих клітей, мм	2000

**Чистова група**

Кількість клітей	8
Діаметр бочки валка горизонтального окалиноломача, мм	800
Довжина бочки валка горизонтального окалиноломача, мм	2000
Довжина бочки робочих валків чистової групи, мм	2000
Діаметр валків чистової групи в мм:	
робочих	800
опорних	1600

**Таблиця А.4 - Технічні характеристики 20-ти валкового стану 1700**

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

\* - матеріал приводних валків сталь 9Х2МФ.

Електродвигуни валків N = 2x2250 к.с. (6120 кВт) з обертами 275/550 об/хв.

Сортамент стану: гарячекатані рулони  
 Н<sub>0</sub>хВ<sub>0</sub>=3,0...4,0х900...1250 мм, холоднокатані штаби hxb=  
 0,7...2,5х900...1250 мм.

**Таблиця А.5 - Технічні характеристики реверсивного стану 1200**

Назва валків	Розміри валків, мм			
	Бочка		Шийка	
	Діаметр max/min	Довжина	Діаметр	Довжина
Робочі	430/400	1220	220	480
Опорні	1300/122	1290	конус	1040

Електродвигун валків: N = 3900 кВт; n \* 320/570 об/хв;

швидкість прокатки 0,5...4,0 м/с;

Сортамент стану: гарячекатані рулони  $H_0 \times B_0 = 2,0...3,5 \times 850$  1030 мм, холоднокатані штаби  $h \times b = 0,5...2,0 \times 850... 1030$  мм.

Матеріал валків: робочих - сталь 9ХФ; опорних - сталь 9Х2МФ.

**Таблиця А.6 - Технічна характеристика стану 2800**

Валки	Розміри валків				Матеріал сталь
	Бочка		Шийка		
	Діаметр max/min	Довжина	Діаметр	Довжина	
Робочі	570/534	2800	300	525	9Х2МФ
Опорні	1600/1500	2800	1050 конус 1:5	1100	9ХФ

Електродвигун валків: N = 2940 кВт; n = 40...80 об/хв;

швидкість прокатки 0,5...2,0 м/с

$M_{крmax}$  (1<sup>го</sup> шпинделя) = 350 кНм

Сортамент багато леговані сталі.

Заготівка:  $H_0 \times B_0 \times L_0 = 2,7...10 \times 1500...2550 \times 2550$  мм,

листи  $h \times b \times l = 1,5...5,0 \times 1500...2550 \times 4500$  мм.

**Таблиця А.7 - Технічна характеристика реверсивного стану 1680**

Валки	Розміри валків, мм				Матеріал Валків Сталь
	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.(3060 кВт);  $n = 300...600$  об/хв;

Передатне число редуктора комбінованого з шестерінчастою кліттю  $i=3,21$ ;

оберти валків  $n=93,5...187$  об/хв;

швидкість прокатки  $0,5...4,75$  м/с;

Сортамент стану: леговані сталі

гарячекатані рулони:  $h \times b = 2,0...3,8 \times 1000...1500$  мм.

холоднокатані штаби:  $h \times b = 0,5...2,0 \times 1000...1500$  мм.

**Таблиця А.8 - Технічна характеристика та головні параметри гарячої прокатки на БШС 1700 Маріупольського заводу (без віпсоламачів)**

№ клітей і їх тип	Діаметри бочок валків, мм робочих	Швидкість прокатки м/с	Відстань поміж клітями м	Максимально допустимий обтиск, [ $\varepsilon$ ]	Допустимі зусилля, мН моменти, кМ м	Потужність двигунів, квт
	опорних					
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>
1Кв*	950...900	1,25	10,5	30	25 150	4000
	1350...1250					
2кв	950...900	1,25	18,6	35	25 150	4000
	1350...1250					
3кв	850...800	2,27	22,98	30	25 110	400
	1250...1170					
4кв	850...800	2,27	35,42	35	25 110	4000
	1250...1170					
5кв	850...800	2,8	53,0	40	25 90	4000
	1250...1170					
6 кв**	650...615	1,32...2,5	105.72	50	20 85	5000
	1300...1280					
7кв	650...615	1,9.. 3,6	5,8	50	20 70	5000
	1300...1280					
8кв	650...615	3,75.. 8,15	5,8	45	20 70	7000
	1300...1280					
9кв	650...615	3,75.. 8,15	5,8	40	20 70	500
	1300...1280					
10кв	650...615	5,95.. 9,5	5,8	30	20 70	7000
	1300...1280					
11кв	650...615	5,95.. 9,5	5,8	20	20 70	5000
	1300...1280					

\*-1... 5 - кліті чорнової групи;

\*\* -6... 11 - кліті чистової групи.

**Таблиця А.9 - Технічна характеристика та деякі параметри гарячої прокатки на БШС 1680 заводу "Запоріжсталь"**

№ клітей і їх тип	$\frac{D0 \times L0}{D0 \times L0}$ мм	$\frac{d_0}{d_0}$ мм	[ $\epsilon$ ], %		Передаюче число редуктора	Номінальна потужність, двигунів, Нн кВт	Відстань поміж клітями, м	Швидкість прокатки м/с	Оберти ЄЛДВ. об/хв
			$B \leq 1200$ мм	$B = 1250 \dots 1500$ мм					
1	2	3	4		5	6	7	8	9
1Д*	900x1680	620			23,99	1840		0,99	500
2КВУ	940x2440	660	37	35	19,26	5400	6,25	1,09	428
	1320x244	750							
3КВУ	850x1680	480	40	37	19,58	3700	21,0	1,13	500
	1240x168	650							
4КВУ	620x1680	395	40	37	10,15	3700	10,1	1,57	500
	1240x168	650							
5КВУ	620x1680	395	40	37	7,36	3700	25,49	2,17	500
	1240x168	650							
6КВ**	620x1680	395	50	45	7,24	5000	58,77	2,2	500
	1240x168	650							
7КВ	620x1680	395	50	45	4,67	5000	5,84	3,42	500
	1240x168	650							
8КВ	620x1680	395	40	35	2,75	5000	5,84	5,78	500
	1240x168	650							
9КВ	620x1680	395	40	35	2,0	5000	5,84	7,93	500
	1240x168	650							
10КВ	620x1680	395	25	25	1,56	5000	5,84	10,14	500
	1240x168	650							
11КВ	620x1680	395	15	15	1,41	5000	5,84	11,25	500
	1240x168	650							

\*- 1...5 - чорнові кліті;

\*\* - 6... 11 - кліті чистової групи.

В табл. ДІ, ДІА, ДІБ прийняті скорочення:

ВПЛГ і ВПЛВ - віпсоламач відповідно горизонтальний чи вертикальний;

D-дуо; KB-кварто; P-реверсивна; У-універсальна;

Др, Lр - діаметр і довжина бочок відповідно робочих (р) і опорних (о) - валків;

d і l - діаметр і довжина шийок валків;

ε - відносний обтиск;

B - ширина штаб

**Таблиця А.10 - Розміри шийок листових валків станів дуо та кварто на підшипниках кочення (циліндричні шийки) і ПРТ (конічні шийки)**

D*	Циліндричні шийки					Конічні шийки			
	d <sub>1</sub>	l <sub>1</sub>	r	d <sub>2</sub>	l <sub>2</sub>	d	l	l	l
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
250	170	190	20	140	200				
	190	210	20	150	280				
300	21	230	20	150	280	170	160	45	10
	230	250	25	160	320				
				170	320				
350	250	270	25	180	350	190	190	45	10
	270	290	30	200	370	220	210	50	10
400	290	320	30	200	370	240	230	55	10
				220	400				
450	310	340	35	240	430	260	240	60	12
	330	360	35	260	460	280	250	65	12
500	350	380	40	250	460	310	270	70	12
				280	460				
550	380	420	40	300	460	350	300	80	16
	400	440	40	320	460				
600	430	470	45	320	460	350	300	80	16
	460	510	50	340	460				
650	460	510	50	340	460	390	340	90	16
	500	550	50	360	500				

Продовження таблиці А.10

700	500 530	550 590	50 55	360 380	500 500	430	380	100	16
750	530 560	590 620	55 55	380 400 420	500 530 530	430 480	380 420	100 110	16 16
800	560 600	620 660	55 60	420 440 460	530 530 530	480	420	110	16
850	600 640	660 700	60 65	460 480 500	530 530 530	530	450	110	16
900	640	700	65	500 530	530 530	570	490	110	16
950	690	760	75	530 560	530 560	570	490	110	16
1000	690	760	75	530 560 600	560 560 560	630	540	110	16
1150	690	760	75	600 630	560 600	710 760	600 640	120 120	20 20

## **Стани для холодного прокатування**

### **1. Стан 2-клітєвий 1200, кварто.**

- Діаметр робочого валка, мм – 500.
- Діаметр опорного валка, мм – 1320
- Довжина бочки валків, мм 1200
- Потужність електродвигунів, квт - 4x180
- Частота обертання, об/хв – 750 – 1000
- Швидкість прокатування, м/с – 24,5

### **2. Стан триклітєвий 1450, кварто**

- Діаметр робочого валка, мм – 450
- Діаметр опорного валка, мм – 1130
- Довжина бочки валка, мм – 1450
- Потужність електродвигунів, квт – 1470
- Частота обертання, об/хв – 62,8-232,6
- Швидкість прокатування, м/с – 2,74-5,27

### **3. Чотириклітєвий стан, кварто 2500**

- Діаметр робочих валків, мм – 500
- Діаметр опорних валків, мм – 1500
- Довжина бочки валків, мм – 2500
- Потужність електродвигунів, квт – 2x2800
- Частота обертання, об/хв – 300x500
- Швидкість прокатування, м/с – 21

### **4. П'ятиклітєвий стан 1200, кварто**

- Діаметр робочого валка, мм – 500
- Діаметр опорного валка, мм – 1340
- Потужність електродвигунів, квт – 2200; 2x1600; 2x1600;

2x2200

- Частота обертання, об/хв – 125 – 780
- Швидкість прокатування, м/с – 17,3-28,2
- Товщина прокату, мм – 0,2-0,36
- Ширина прокату, мм – 1050
- Маса рулона, т – 15

### **5. Двадцятивалковий стан 1200**

- Діаметр робочих валків, мм – 55
- Діаметр опорних валків, мм

1 ряд – 10

2 ряд – 175

3 ряд – 300

- Довжина бочки валків, мм – 1200
- Потужність електродвигуна – 2620 кВт
- Швидкість прокатування, м/с – 5 - 10
- Товщина прокату, мм – 0,1

**6. Стан чотириклітєвий, 1700**

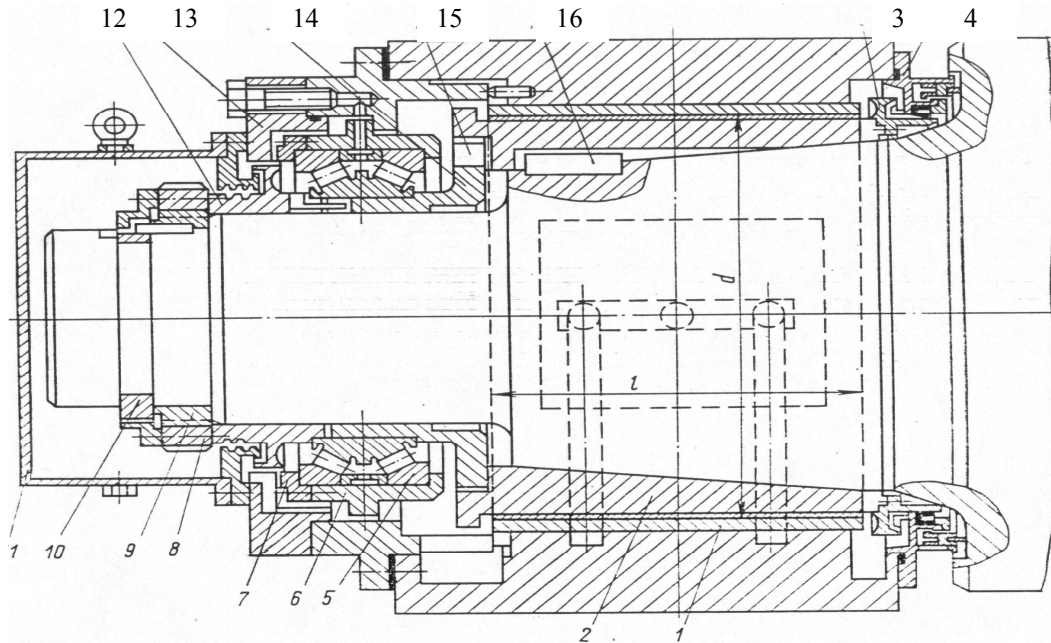
- Діаметр робочого валка, мм – 500
- Діаметр опорного валка, мм – 1300
- Довжина бочки валка, мм – 1700
- Потужність електродвигунів, кВт – 2200
- Швидкість прокатування, м/с – 25
- Товщина прокату, мм – 0,4 – 2,0

**7. П'ятиклітєвий стан 1700**

- Діаметр робочого валка, мм – 600
- Діаметр опорного валка, мм – 1500
- Довжина бочки валка, мм – 1700
- Потужність електродвигунів, кВт – 8840
- Швидкість прокатування, м/с – 25
- Товщина прокату, мм – 0,4 – 3,5

**8. П'ятиклітєвий стан 2030**

- Діаметр робочого валка, мм – 615
- Діаметр опорного валка, мм – 1600
- Довжина бочки валка, мм – 2030
- Потужність електродвигунів, кВт – 10800
- Швидкість прокатування, м/с – 31,4
- Товщина прокату, мм – 0,4 –



55

1- втулка-вкладень; 2- втулка-цапфа; 3 – кільце-насадка; 4 – задня кришка з манжетою та торцевим текст.ущільненням; 5 – упорний вузол; 6 – стакан; 7 - кришка фіксуюча; 8 – гайка фіксуюча; 9 – кільце; 10 - напівкільця; 11 – кожух; 12 – передня насадка; 13 – кришка передня; 14 – втулка; 15 – шпонка фіксуюча; 16 – шпонка.

Рисунок А.1 - Підшипник рідинного тертя конструкції ЄЗТМ діаметром 450-1320 мм

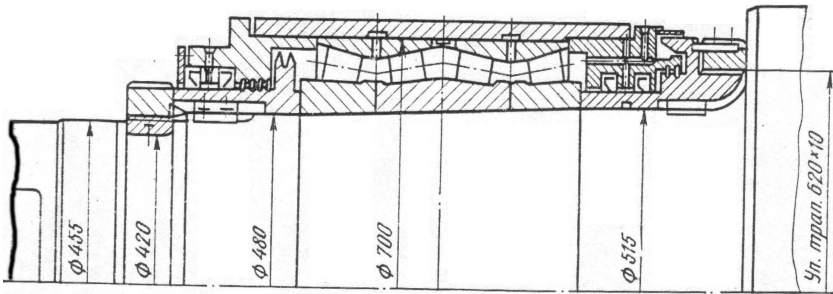


Рисунок А. 2 - Установка рабочего валка з конічною шийкою чотиривалкового стану 2000 на роликових конічних підшипниках.

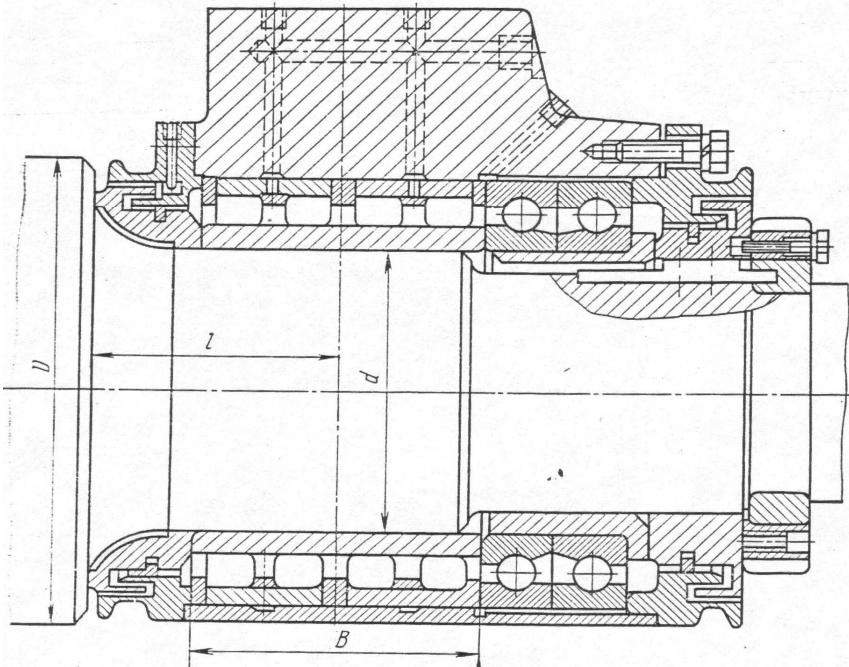
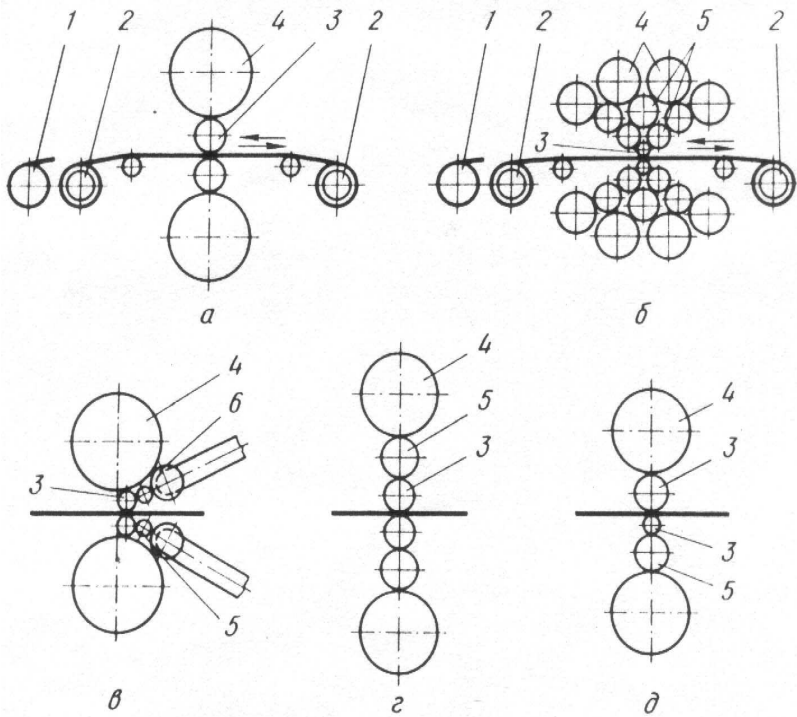
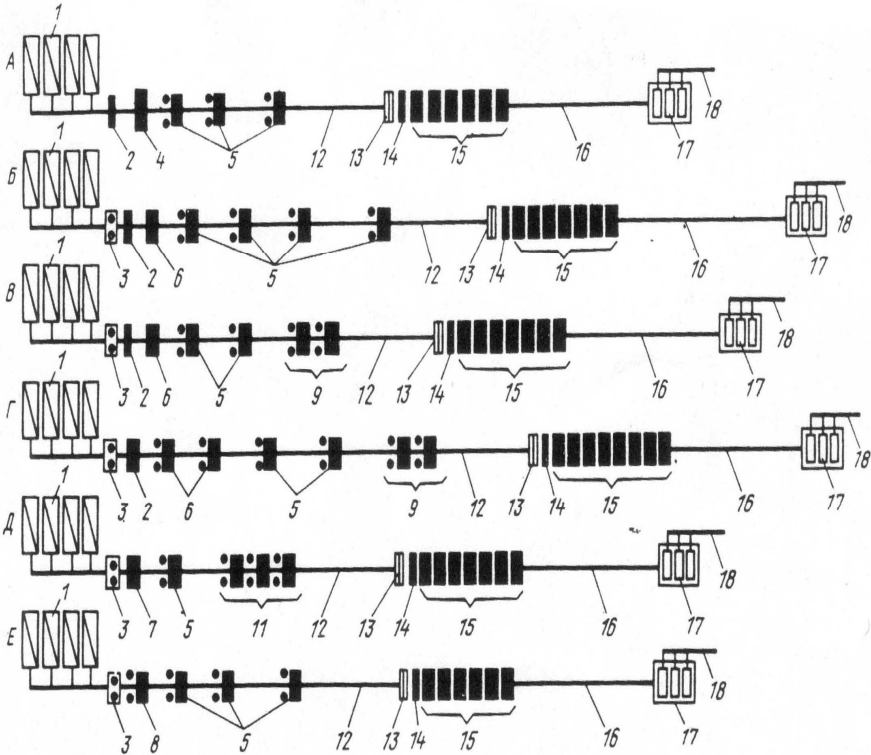


Рисунок А.3 - Фіксуюча опора валка на чотирирядному підшипнику з циліндричними роликами (шийка валка конічна або циліндрична з діаметром під підшипник 500-950 мм)



а – кварто; б – 20-валковий; в – типа МКW; г – 6-валковий типа НС; д – 5-валковий (стан Тейлора); 1 – розмотувач; 2 – моталки; 3 – робочі валки; 4 – опорні валки; 5 – проміжні валки; 6 – опорні ролики.

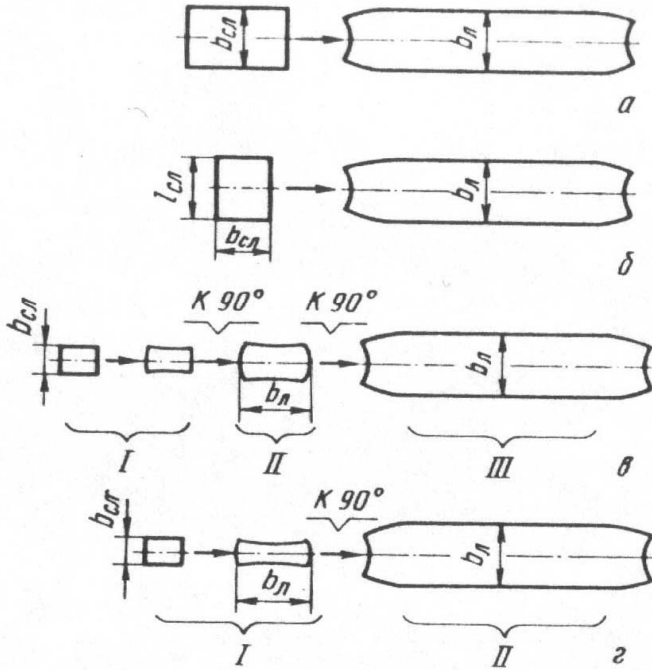
Рисунок А. 4 - Схеми одноклітєвих реверсних станів і робочих клітєй різних конструкцій



1 – нагрівальні печі; 2 – чорновий окалиноломач з горизонтальними валками; 3 – чорновий окалиноломач з вертикальними валками; 4 – розширювальна кліть кварто; 5 – чорнові універсальні кліті кварто; 6 – чорнова кліть кварто; 7 – чорнова кліть дуо; 8 – чорнова реверсивна кліть; 9 – чорнова безперервна підгрупа з двох універсальних клітей кварто; 10 – чорнові універсальні кліті дуо; 11 – чорнова безперервна підгрупа з трьох універсальних клітей кварто; 12 – проміжний рольганг;

13 – летючі ножиці; 14 – чистовий окалиноломач; 15 – чистова безперервна група клітей кварто; 16 – відвідний рольганг; 17 – моталки; 18 – конвеєр для транспортування ролонів.

Рисунок А.5 - Схеми розташування робочих клітей безперервних широкосмугових станів



а – проста поздовжня; б – проста поперечна; в – поздовжня з розбиванням ширини заготовки; г – поперечна з поздовжніми попередніми пропусками (протягуванням); I, II, III – стадії процесу прокатування.

Рисунок А.6 - Схеми прокатування товстих листів

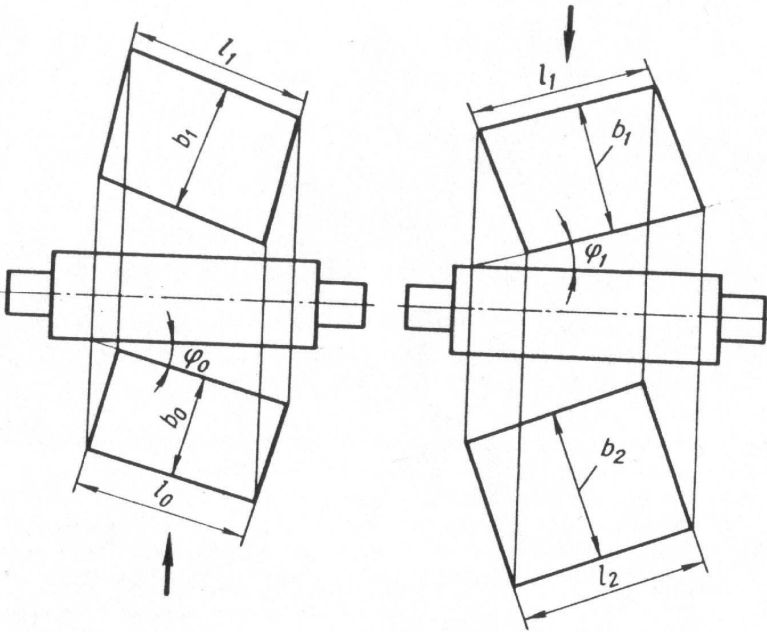


Рисунок А.7 - Схема прокатування під кутом (прямий і обратний пропуски)

**Таблиця А.11 - Розміри шийок листових валків станів дуо та кварто на підшипниках кочення (циліндричні шийки) і ПРТ (конічні шийки) (Рисунок А.8 і А.9)**

D <sub>6</sub>	Циліндричні шийки		Конічні шийки					D <sub>6</sub>	Циліндричні шийки		Конічні шийки				
	d <sub>2</sub>	l <sub>2</sub> max	d <sub>k</sub>	l <sub>k</sub>	l <sub>3</sub> min	l <sub>ж.т</sub>	d <sub>ж.т</sub>		d <sub>2</sub>	l <sub>2</sub> max	d <sub>k</sub>	l <sub>k</sub>	l <sub>3</sub> min	l <sub>ж.т</sub>	d <sub>ж.т</sub>
250	140 150	200 280				110	180	750	380 400 420	500 530 530	430 480	380 420	100 110	300-375	500
300	150 160 170	280 320 320	170	160	45	120-130	200	800	420 440 460	530 530 530	480	420	110	330-415	550
350	180 200	350 370	190 220	190 210	45 50	130-165 150-190	220 250	900	500 530	530 530	570	490	110	390-490	650
400	200 220	370 400	240	230	55	165-205	225	1000	530 560 600	530 560 560	630	540	110	425-530	710
450	249 260	430 460	260 280	240 250	60 65	180-225 195-240	300 320	1100	600 630	560 600	630 710	540 600	110 120	425-530 480-600	710 800
500	260 280	460 460	310	270	70	210-260	350	1200	630 670 710	600 650 720	760	640	120	850-510	850
550	300 320	460 460	350	300	80	240-300	400	1300	710 750	720 850	800	710	125	540-670	900
600	320 340	460 460	350	300	80	240-300	400	1400	750 710	850 720	890	780	125	600-750	1100
650	340 360	460 500	390	340	90	270-340	450	1500	710 750	720 850	1000	860	130	670-840	1120
700	360 380	500 500	430	380	100	300-375	500	1600	750 720	850 720	1000 1050	860 820	130 135	670-880	1120 1120

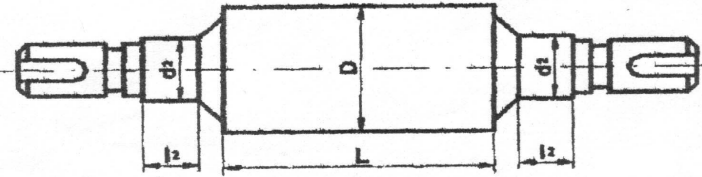
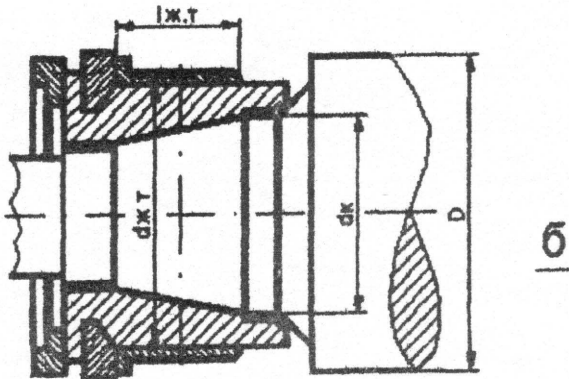
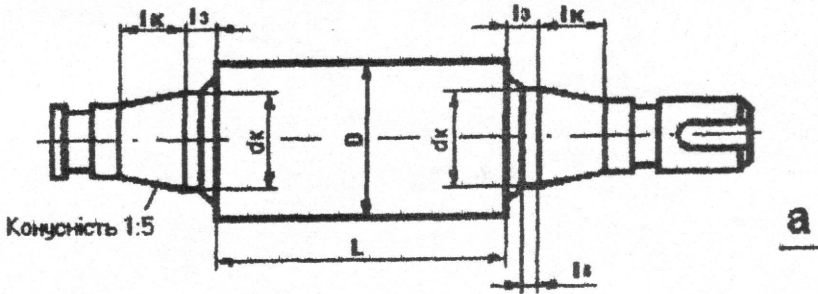
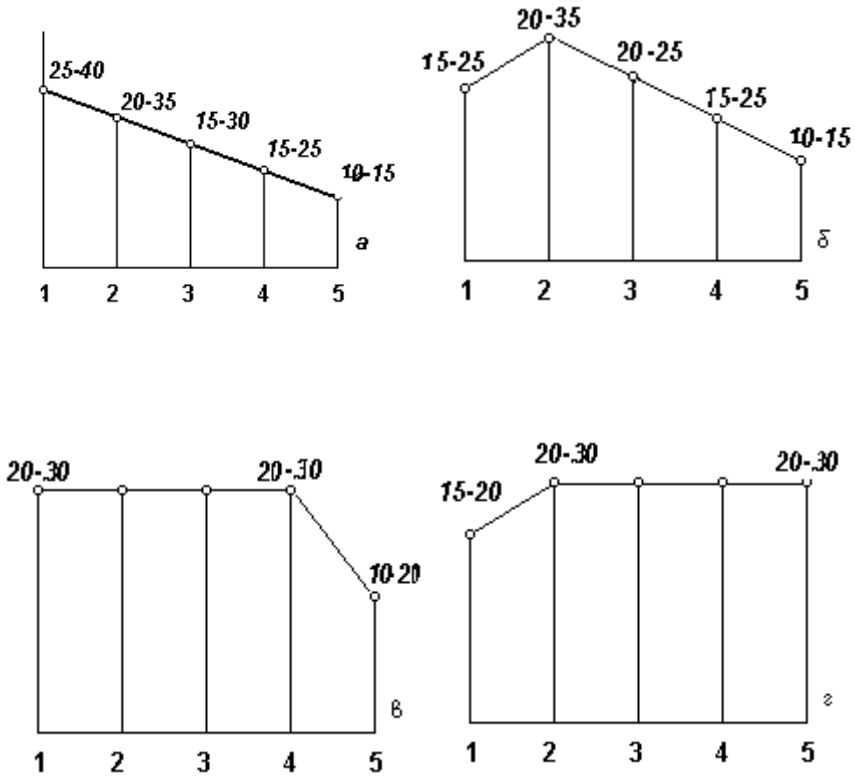


Рисунок А.8 – Гладкий валок



а – валок, б - муфта

Рисунок А.9 – Схема передачі крутного моменту



1,2,3,4,5 – номери клітей; а,б,в,г – варіанти розподілу обтискувань.

Рисунок А.10 - Режими обтискувань при холодній прокатці на безперервних станах

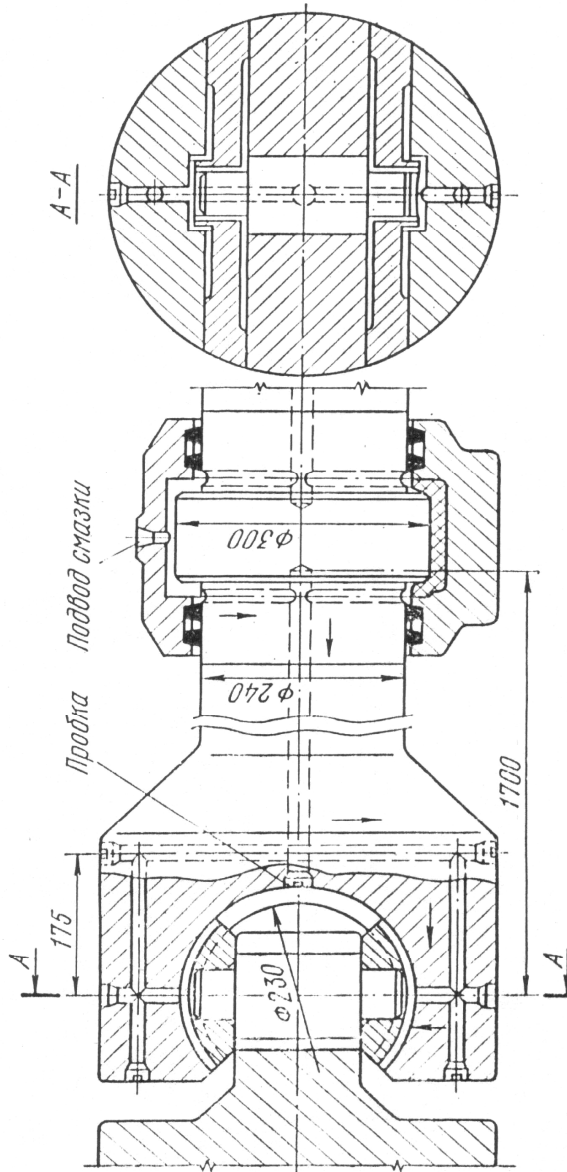


Рисунок А.11. - Універсальний шпindelь привода валків реверсивного стану 1700

**Таблиця А.12 - Розрахунково-графічне завдання з дисципліни “Технологія листового прокатування”**

	<b>Кінцеві параметри</b>	<b>Розкат ширина, мм</b>	<b>Вид прокатування</b>	<b>Марка сталі</b>
	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
	Верх 720x960 низ 780x1000 висота 2300 маса 11,9т.	80x900	холодний всад	X18P9T
	Верх 720x1000 низ 720x960 висота 3100 маса 14,4т.	1000x960	гарячий всад	16Г2
	Верх 640x990 низ 580x942 висота 220 маса 11,0т.	80x870	холодний всад	1X13
	Верх 640x1100 низ 580x1062 висота 2200 маса 11,8т.	120x1050	холодний всад	10X20H3
	Верх 720x1570 низ 780x1600 висота 2300 маса 17,7т.	140x14400	гарячий всад	Сталь 3кп
		2x1500 маса 15т.	транзит всад	Сталь 08ю
		1,8x1400 маса 7,5т.	холодний всад	Сталь 10X13
		4x1500 маса 10т.	транзит	Сталь 3кп
		2,5x1200 маса 12т.	транзит	Сталь 65Г
0		0,6x1200 маса 15т.	холодний прокат	Сталь 3кп
1		1x1500 маса 10т.	холодний прокат	08ю

Продовження таблиці А.12

2		0,3x1200 маса 7,5	холодний прокат	10X18Н9
3	Верх 640x950 низ 580x942 h=220	80x1650	холодний всад	ЭИИ37Б
4		0,3x600 маса 1,5т.	холодний прокат	08кп
5		0,8x2000 маса 10т.	холодний прокат	Ст3
6		1,2x1800 маса 15т.	холодний прокат	Ст3
7		0,3x1200 маса 5т.	холодний прокат	XI8Н9Т
8		4,5x1000 маса 20т.	транзит	4X13
9		0,3x1000 маса 2т.	холодний прокат	65Г
0		1,0x1500 маса 7,5т.	холодний прокат	08ю
1	640x1100, 580x1062, h=2200	80x1000	холодний всад	10XI2Н9
2	640x1220, 580x1196, h=2200	100x1050	гарячий всад	651
3	640x1480, 580x1436, h=2200	120x1300	холодний всад	1X13
4		3x1400 маса 15т.	гарячий всад	08ю
5		6x1500 маса 12т.	гарячий всад	08кп
6		2x1300 маса 10т.	транзит	10Г2
7		0,7x1400, маса 15т.	холодний прокат	Ст3