

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
КРИВОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ГІРНИЧО-МЕТАЛУРГІЙНИЙ ФАКУЛЬТЕТ

КАФЕДРА МЕТАЛУРГІЇ ЧОРНИХ МЕТАЛІВ І ЛИВАРНОГО ВИРОБНИЦТВА

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА**  
**до випускної атестаційної роботи бакалавра**

**зі спеціальності 136 – Металургія**

**«РОЗРОБКА ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ДРОТУ З**  
**ВИКОРИСТАННЯМ ОБЛАДНАННЯ З БЛОЧНИМИ ПРОКАТНИМИ**  
**КЛІТЯМИ»**

Виконав:

Студент групи МТ 20-1

\_\_\_\_\_ Руслан СНАРСЬКИЙ

Керівник кваліфікаційної роботи

\_\_\_\_\_ Вікторія ЧУБЕНКО

Нормоконтролер

\_\_\_\_\_ Вікторія ЧУБЕНКО

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ Сергій САВЕЛЬЄВ

Кривий Ріг  
2024 р.

## РЕФЕРАТ

до випускної кваліфікаційної роботи на тему:

### **Розробка процесу виготовлення дроту з використанням обладнання з блочними прокатними клітьми**

**Пояснювальна записка:** с., табл., рис., джерел.

**Об'єкт дослідження:** прокатування дрібносоротної сталі

**Предмет дослідження:** процеси прокатування дрібносоротної сталі, що має діаметр 10 мм.

**Мета роботи:** удосконалення технологічного процесу гарячого прокатування дрібносоротної сталі за рахунок використання блочних прокатних клітей.

**Методи дослідження:** теоретичний аналіз процесу прокатування та роботи дрібносортового прокатного стану, розрахунок калібрувань блочних калібрів, режимів обтиснень та параметрів прокатування.

**Результати роботи:** виконано аналіз процесів прокатування сталевих виробів, проаналізовано обладнання, що застосовується для отримання дрібносортових сталевих профілів, виявлено переваги та недоліки в його роботі; для підвищення якості отриманого профілю та збільшення швидкості прокатування запроваджено чистовий блок клітей, що забезпечують потрібні форму та розміри дроту; визначено схему калібрувань та виконано розрахунок обтискних параметрів для отримання потрібної продукції, визначено швидкісні умови прокатування, витрати енергії на процес.

**Ключові слова:** гаряче прокатування, дрібносортова сталь, прокатних стан; прокатні валки, блокова кліть, режими обробки, витрати енергії, міцність.

# ЗМІСТ

ВСТУП.....	
1. АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА.....	
1.1 Загальна характеристика прокатного виробництва.....	
1.2 Обладнання для прокатування.....	
1.3 Характеристика технологічного обладнання безперервного дрібносортного прокатного стану .....	
1.4 Аналіз роботи прокатного стану ДС 250 1.....	
1.5 Пропозиції щодо удосконалення прокатного стану ДС 250 1	
2. ІНОВАЦІЙНА ЧАСТИНА.....	
2.1 Чистовий блок клітей.....	
2.2 Універсальні кульові шпинделі .....	
2.3 Визначення параметрів прокатування та режимів обтиснення....	
2.4 Визначення енергосилових параметрів.....	
ВИСНОВКИ.....	
ЛІТЕРАТУРНІ ДЖЕРЕЛА.....	
ДОДАТКИ.....	

## ВСТУП

Металургія чорних металів займається виготовленням згрудкованої сировини, яка в подальшому використовується в доменному процесу під час якого випускають чавун. Чавун широко використовують у ливарному виробництві або переплавляють його на сталь. Зі сталевих виробів виготовляють різні профілі.

Сталеві матеріали з успіхом використовують у прокатному виробництві, де зливки отримує необхідну форму та розміри. Сталеві вироби підлягають прокатуванню, завдяки здатності матеріалу до пластичної деформації, де виріб здатен беззворотно змінювати свою форму та розміри.

Прокатне виробництво – це заключна стадія усього металургійного виробництва. Через це до виготовлення прокатних виробів пред'являється особлива увага з точності розмірів та їх відхилення, якості внутрішньої і зовнішньої поверхні виробів, до механічних хімічних та фізичних властивостей та продуктивності процесів. Вимоги до прокатного виробництва постійно підвищуються.

Велика увага в прокатному виробництві приділяється виготовленню сортового прокату. Напрямки розвитку сортопрокатного виробництва полягають у наступному: підвищення виходу придатного прокату, покращення його якості та точності до рівня світових стандартів, розширення сортаменту прокатних профілів, широке розповсюдження енерго- та ресурсозберігаючих технологій, всебічна механізація та автоматизація процесів оброблення прокату, його пакування та маркування.

Виконання цих умов вимагає удосконалення технологічних процесів та прокатного обладнання, створення більш високоточного устаткування, здатного працювати на більш високій швидкості прокатування.

Тому важливе завдання на сьогоднішній день металургійної галузі – це модернізація діючого прокатного обладнання шляхом технічного переозброєння, створення нових більш удосконалених вузлів та агрегатів, що здатні випускати

якісну прокатну продукцію при високій швидкості обробки, що забезпечить підвищення продуктивності процесу гарячого прокатування.

Прокатні стани, що випускають дрібносортовий прокат у своєму складі мають чавунні прокатні валки, які швидко зношуються і не забезпечують, внаслідок цього високу точність виробу.

Тому, впровадити чистові блокові кліті є задача актуальна, що дозволить покращити якість дрібносортового прокату та продуктивність обробки.

## РОЗДІЛ 1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

### 1.1 Загальна характеристика прокатного виробництва

Завдяки процесам прокатування виготовляється безліч металовиробів різної форми та розмірів.

Прокатування це процес втягування металу в щілину між прокатними валками силами тертя. Ця щілина має назву зазору. Від час прокатування відбувається пластична деформація металу, тоб-то зміна його форми та розмірів.

Такі зміни відбувається внаслідок зміни розміру зазору між прокатними валками.

Форма поперечного перерізу отриманого виробу має назву профілю. Сукупність профілів та їх розмірів має назву сортаменту. Хоч і весь сортамент прокатних виробів надзвичайно великий, його поділять на чотири групи:

- сортовий прокат;
- листовий прокат;
- трубний;
- спеціальні профілі.

Листовий прокат класифікується на товстолистовий і тонколистовий. Товстолистовий – це той лист, що має товщину понад 4 мм. Тонколистовий – це той лист, що має товщину меншу за 4 мм.

Трубний прокат класифікується на зварні труби та безшовні.

О спеціальних профілів відносять автообод, крюки, гаки, зубчасті колеса, свердла тощо.

Велику частину прокатного виробництва займає сортовий прокат. він у свою чергу поділяється на:

- крупносортовий;
- середнесортовий;
- дрібносортовий.

Сортовий прокат, звичайно, виготовляють з вуглецевих сталей звичайної якості, конструкційних та низьколегованих марок сталей різного ступеню розкислення [1,2,3].

Процеси прокатування класифікуються за декількома ознаками:

- за взаємним розташуванням і руху валків та смуги;
- за температурою прокатування;
- за впливом зовнішніх чинників.

За взаємним розташуванням і руху валків та смуги процеси прокатування класифікують на поздовжнє, поперечне і поперечно-гвинтове.

При поздовжньому прокатуванні ось прокатних валків перпендикулярна осі смуги, що обробляється (рис. 1.1). Такий вид прокатування використовується при отриманні сортових профілів, при прокатування листів.

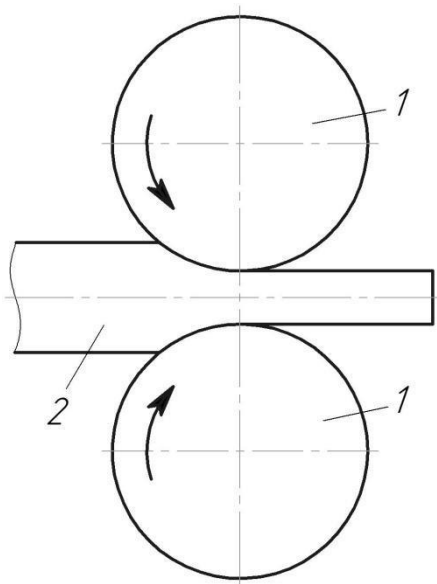


Рисунок 1.1 – Схема поздовжнього прокатування: 1 – прокатні валки; 2 – смуга, що обробляється

Поперечне прокатування використовується для виготовлення циліндричних виробів: валів, осей, шестерень, втулок, коліс для залізничного

транспорту, зубчастих коліс тощо. Під час обробки діаметр заготовки зменшується, а довжина її збільшується. Таким чином отримуються потрібні розміри. Під час прокатування прокатні валки обертаються у один бік, а заготовка у інший. Вона підтримується роликами (рис.1.2).

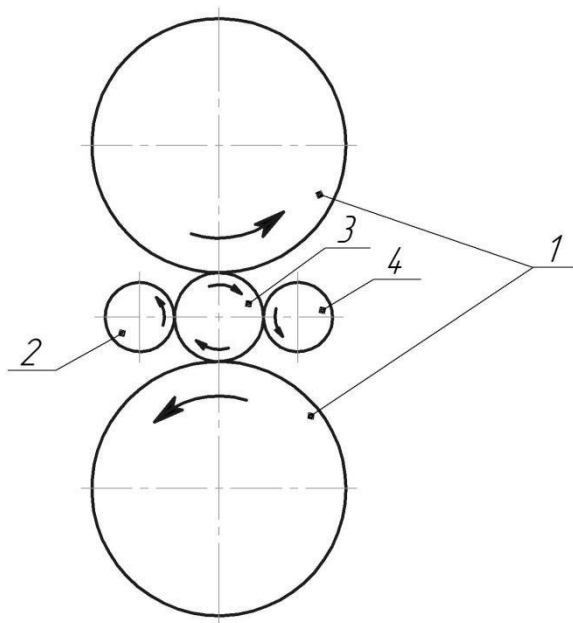


Рисунок 1.2 – Схема поперечної прокатки:

1 – прокатні валки, 2, 4 – підтримуючі роликиролики; 3 – виріб, що обробляється

Попережно-гвинтова прокатка відбувається у прокатних валках, осі яких між собою перехрещуються (рис.3). у цьому випадку валки обертаються у один бік, а заготовка обертається і рухається поступально. Про поперечно-гвинтове прокатування можна сказати, що воно займає проміжне положення між поздовжнім та поперечним прокатуванням.



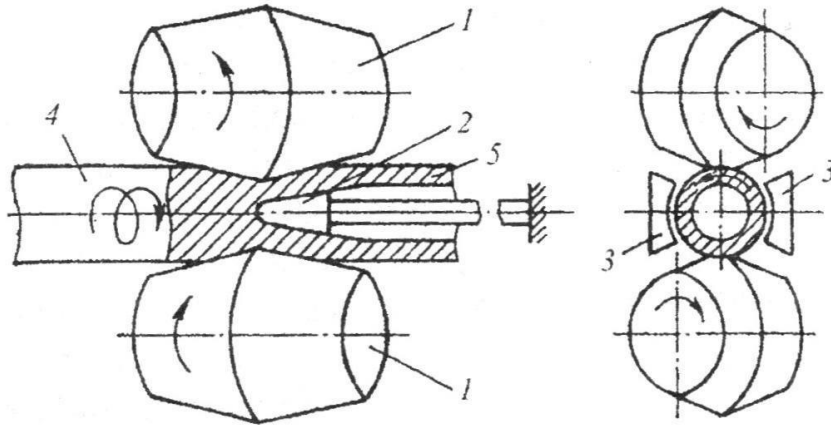


Рисунок 1.3 – Схема косоного прокатування при прошиванні заготовки:  
 1 – валки; 2 – оправка; 3 – лінійки; 4 – трубна суцільна заготовка, 5 –  
 отримання труби

За температурою обробка процеси прокатування класифікується на гаряче та холодне.

Холодне прокатування використовується при кімнатній температурі та використовується при виготовленні тонких листів або дрібних профілів, або при обробці м'яких матеріалів. У останніх випадках використовується гаряче прокатування, яке здійснюється при температурі, що дорівнює 0,8 температури плавлення матеріалу, що обробляється.

За впливом зовнішніх чинників процеси прокатування класифікують на прокатуванням з натягінням та без нього.

## 1.2 Обладнання для прокатування

Для прокатування використовується обладнання, що має назву – прокатний стан.

Прокатний стан – це комплекс машин та механізмів, що забезпечують обробку металевих сплавів пластичному стані.

Прокатні стани класифікують за декількома ознаками:

- за принципом дії;
- за призначенням;
- за кількістю робочих клітей.

За принципом дії прокатні стани класифікують: на реверсивні; безперервні; напівбезперервні.

У реверсивних прокатних станах рух металу відбувається в прямому та зворотному напрямку. Для цього використовують одноклітьові та двоклітьові прокатні стани.

Безперервні – це багатоклітьові прокатні стани, де рух металу відбувається в один бік. Метал, як правило, знаходиться у декількох клітях одночасно. Умова безперервності – постійність секундних об'ємів. Використовуються такі прокатні стани при отриманні сортової сталі, тонколистової.

Напівбезперервні прокатні стани – це те обладнання, що у своєму складі мають реверсивну (як правило, чорнову) групу клітей і безперервну (як правило, чистову) групу клітей. До таких станів відносять листові прокатні стани, крупносортові.

За призначенням прокатні стани класифікують на:

- обтискні, де відбуваються великі обтиснення;
- сортові, призначенні для виготовлення сортового прокату;
- листові, для виготовлення листової продукції;
- трубопрокатні, для виготовлення труб;
- спеціальні, для виготовлення спеціальних профілів.

Сортові прокатні стани у свою чергу поділяються на:

- крупносортові стани мають діаметр прокатних валків 500-700 мм; призначені для виготовлення виробів, що мають розмір у поперечному перерізі від 80 до 120 мм;

- середньосортові стани мають діаметр прокатних валків 350-500 мм, призначені для отримання виробів, що мають поперечний розмір від 40 до 80 мм;

- дрібносортові стани, мають діаметр прокатних валків 250-330 мм, призначені для виготовлення виробів, що мають поперечний розмір від 10 до 40 мм ;

- дровові стани мають діаметр прокатних валків 150-280 мм, призначені для виготовлення дроту.

Для виготовлення дроту використовується прокатний дрібносортовий прокатний стан безперервної ді ДС 250-1 (Рис. 1.4).

Цей прокатний стан призначений для призначено для прокатування дрібносортової сталі наступних розмірів:

- сталь квадратна, розміром поперечного перерізу від 8 до 27 мм;
- сталь кругла, розміром поперечного перерізу від 8 до 30 мм;
- арматура №№ 8÷28.

Вихідний матеріал для прокатування на дрібносортовому стані ДС 250-1 – це заготовки, що мають розмір поперечного перерізу 80x80 мм і довжину від 11 до 18 м. Ці заготовки, відповідно до замовлень, укладають пратцен-кранами на грати для завантаження. З грат, за допомогою пристроїв для перекладання поштучно передають на рольганг для підведення.

Заготовки оглядають та зачищають. Придатні до прокатування заготовки транспортують для нагрівання до методичної печі, завантажують їх у піч за допомогою втягуючого пристрою. Виявляють, під час огляду браковані заготовки і скидають їх до кишені.

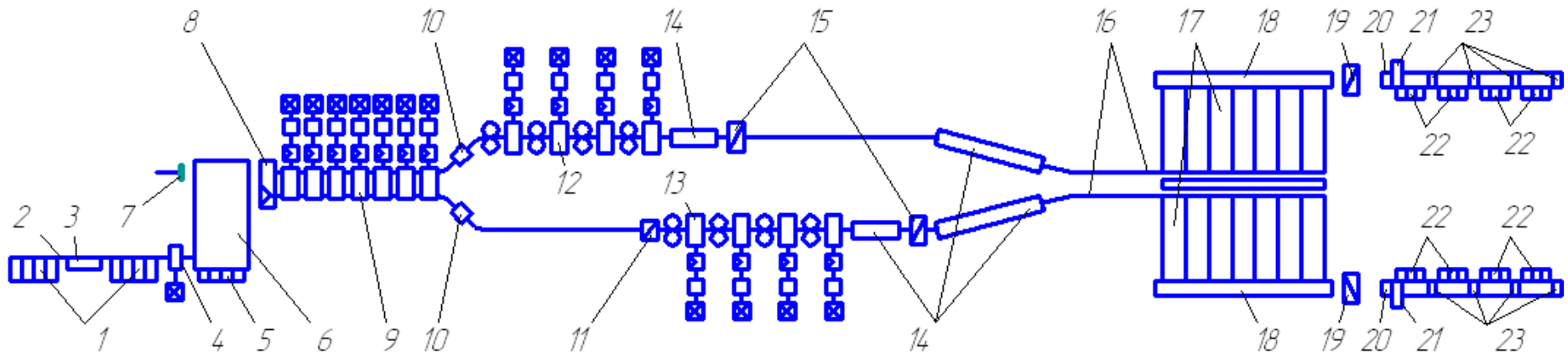


Рисунок 1.4 Схема розташування безперервного дрібносортного прокатного стану 250-1:

1 – грати для завантаження матеріалів; 2 – рольганг, що підводить до стану; 3 – кишень для забракованих матеріалів; 4 – втягуючий пристрій; 5 – штовхач; 6 – піч нагрівальна; 7 – пристрій, що виштовхує; 8 – пристрій для розподілення; 9 – чорнова група клітей; 10 – ножиці аварійні; 11 – ножиці обриванні; 12, 13 – ліва і права чистові групи клітей; 14 – лінія прискореного охолодження прокату після термозміцнення; 15 – ножиці двобарабанні; 16 – рольганг; 17 – холодильник; 18 – рольганг відвідний; 19 – ножиці; 20 – рольганг для прибирання матеріалів; 21 – упор пересувний; 22 – ваги з кишнями; 23 – упор кінцевий

Нагрівання заготовок відбувається до температури 1200-1250°C. Під час нагрівання заготовки рухаються у печі за допомогою штовхачів. Видачу заготовок з печі здійснюють за допомогою виштовхувача.

Після видачі з печі, нагріті заготовки розподіляють на дві нитки за допомогою розподільного устаткування і подають до першої кліті прокатного стану. Прокатування здійснюється у дві нитки на кожній чистовій групі прокатної кліті. Прокатування відбувається за 15 проходів.

Для отримання потрібної форми та розмірів готового прокату використовується різні системи калібрів. Для отримання круглого та арматурного профілю використовують систему «овал - ребровий овал».

Переваги цієї системи калібрів у наступному:

- отримання якісної поверхні розкату;
- універсальність застосування калібрів;
- стійкість розкатів у калібрах;
- висока зносостійкість.

Для уникнення аварій між чорною та чистовою групами клітей передбачено обрізання переднього кінцю розкату на летючих ножицях. Їх також використовують для розрізання на мірні довжини та розділення на частини.

Також у аварійних ситуаціях використовують обривні ножиці, що встановлено перед правою чистовою групою клітей. Вони автоматично в аварійних випадках відрізають задній кінець розкату, що застряг у чистових клітях. Таким чином зменшується кількість браку між клітями.

На виході з чистових клітей при прокатуванні усіх профілів отриманий розкат розрізають на мірні довжини на летючих ножицях для укладання на холодильник.

На холодильниках смуги переміщуються, охолоджуються, після чого їх збирають у пакети і подають до 630-тонних ножиць де обрізають.

Обрізані розкати спрямовують на відповідний рольганг, де в кишенях цього рольгангу їх збирають у прутки, зважують на вагах, ув'язують у пачки, маркують, упаковують і транспортують за допомогою електромостових кранів на склад готової продукції.

Обріз, що утворилася, збирають у короби, що встановлено у спеціальних ямах.

Окалина, що утворилася під робочими клітями і рольгангами прокатних станів, змивають водою у відстійник окалини, який розташований у скрапному прольоті і завантажують у залізничні вагони.

Усі ділянки прокатного стану пов'язані у єдиний технологічний комплекс, що забезпечує злагодженість та безперебійність роботи обладнання, якість продукції, що випускається та продуктивність процесу прокатування.

### **1.3 Характеристика технологічного обладнання безперервного дрібносортного прокатного стану ДС 250-1**

Дрібносортний прокатний стан ДС 250-1 складається з наступного обладнання:

- завантажувальні грати;
- підводячий рольганг;
- втягуючий пристрій;
- нагрівальна піч;
- штовхач;
- виштовхувач;
- розподільно-втягуючий пристрій;
- горизонтальні робочі кліті;
- вертикальні робочі кліті;
- аварійні ножиці;
- рольганг перед барабанными ножицями;

- охолоджуючий пристрій;
- установка термічного зміцнення арматурної сталі;
- рольганг перед двобарабанними ножицями;
- двобарабанні ножиці;
- холодильник;

Завантажувальні грати призначені для приймання заготовок з ад'юстажу цеху і поштучну їх подачу на рольганг, який підводить до нагрівної печі. Кількість грат: двоє; тип – рейковий. Грати складаються з рухомої та нерухомої типів гребінчастих рейок. Максимальна маса заготовок, що здатні вклатися на грати – 36,6 т, кількість заготовок, що вкладаються на грати 50 штук. Кожна з грат має продуктивність, що відповідає продуктивності прокатного стану.

Підводячий рольганг призначено для подачі заготовок від завантажувальних грат до втягуючого пристрою нагрівної печі. Цей рольганг складається з трьох холостих роликів та 42 приводних, які мають діаметр 250 мм, ролики мають індивідуальний привід від електродвигуна змінного струму.

Втягуючий пристрій подає заготовки від підводячого рольгангу до нагрівної печі. Тип пристрою – роликівий. Складається з станини, тягнучих роликів, демпфера, пружинного механізму та приводу.

Нагрівальна методична піч – призначена для нагрівання матеріалу до температури прокатування. Піч має бічну посадку та видачу матеріалу, що нагрівається, дві зони опалювання, монолітний корпус та підвісне зведення. Півітря у печі підігрівається у керамічному рекуператорі. Маса заготовок, що нагріваються до 0,6 т, поперечний переріз заготовок 80x80. Температура нагрівання перед видачою дорівнює 1200°C, максимальна продуктивність печі складає 100÷110 т/час.

Штовхач призначено для проштовхування у печі посаджених заготовок. Штовхач розташовують з торцевого боку печі. Тип штовхосу – кривошипно-ричажний. До складу ричага входить вал з важелями, на яких встановлено дев'ять штанг, які штовхають, два кривошипи, один двостіпінчастий редуктор та привід.

Виштовхуючий пристрій призначено для видачі нагрітих заготовок з методичної печі. Тип штанговий. Пристрій складається з чотирьох стійок, де розміщено штангу та рухомий візок виштовхуючої штанги.

Розподільно витягуючий пристрій складається з двох спрямовуючих поршнів та двох розподільних плит. Кількість таких витягуючих пристроїв – два. Кожен з них складається з двох роликів – одного приводного і одного холодного та притискного пневматичного пристрою.

Горизонтальні робочі кліті мають тип – відкритий. Кількість таких клітей дорівнює п'ятнадцяти. Горизонтальна робоча кліть складається з наступних механізмів: станин робочих валків з підшипниковими опорами, затискного пристрою, механізму врівноваження прокатних валків, привалкової арматури, системи густого змащення, розведення, охоложуючих систем.

Загальна характеристика горизонтальних клітей зведена в таблицю. 1.2

Таблиця 1.2. Характеристика горизонтальних прокатних клітей

Параметр кліті	Номер кліті		
	1-7	9, 11	13, 15
Діаметр прокатних валків, мм:			
мін;	330	290	240
мах	370	320	270
Кількість прокатних клітей	7	4	4
Довжина бочки прокатного валка, мм	700	600	500
Осьове переміщення кліті, мм	±300	±250	±200
Максимальний тиск металу на валки, МН	1,07	0,8	0,4
Частота обертання прокатних валків, об/хв:			
мін;	11,1	145,3	300
мах	177,8	517	1170
Швидкість прокатування, м/с:			



мін;	0,22	2,2	4,5
мах	3,45	8,65	14,7
Межі регулювання валка, мм:			
вертикальне;	±30	±10	±8,5
осьове	±300	±250	±200

Вертикальні робочі кліті знаходяться у кількості 8 клітей, складаються з наступних вузлів та механізмів: станини зі змінними рамами з механізмами регулювання зазору між валками, шестеренної кліті, вузлу шпинделів, механізму переміщення рами, редуктору, візка для перевалювання, розведення системи густого мастила, системи охолодження робочих валків, системи примусової вентиляції та охолодження електродвигунів. Загальна характеристика наведена у таблиці 1.3.

Таблиця 1.3 – Характеристика робочих клітей з вертикальними валками

Характеристика	Номер кліті			
	8	10	12	14
Діаметр прокатних валків, мм	290-320	290-320	290-320	290-320
Довжина бочки прокатних валків, мм	400	400	400	400
Частота обертання прокатних валків, об/хв	100-300	150-450	218-650	310-925
Частота обертання двигуна, об/хв	500-1500	500-1500	500-1500	500-1500
Мах. зазор між валками, мм	80	80	80	80
Мах тиск металу на валки, кН	300	300	300	300
Потужність приводу, кВт	2x200	2x200	2x200	2x200
Передаточне відношення редуктора	5	3,4	2,3	1,63

Переміщення по вертикалі, мм	±200	±200	±200	±200
Швидкість перевалочного візка, м/хв	1,2	1,2	1,2	1,2
Швидкість регулювання, м/хв	0,177	0,177	0,177	0,177

Аварійні ножиці призначені для обрізання кінців розкату та його аварійного обрізання на короткі довжини. Їх встановлюють після чорнової прокатної кліті. Тип летючих ножиць – ротаційно-кривошипні правого та лівого виконання. Їх встановлюють в кількості – дві штуки. Складаються з наступних вузлів: власне ножиць; редуктору з маховиком, що спрямовує розкат, пристрою для прибирання обрізі.

Правий рольганг перед барабанними ножицями складаються з вісімнадцяти роликів, що мають індивідуальний електропровід змінного струму.

Охолоджувальний пристрій служить для охолодження чистових валків, розташовують за чистовими клітями на кожен зі сторін прокатного стану. Вони складаються з однієї охолоджуючої секції, що автоматично відсікає пристрій і однієї протиточної форсунки.

Установка термічного зміцнення арматурної сталі складається з секції попереднього охолодження. Її розташовано за чистовою прокатною кліттю за барабанними ножицями. Складається установка з трьох секцій.

Лівий рольганг перед двобарабанними ножицями має у своєму складі сорок сім роликів, що мають індивідуальний привід змінного струму.

Двобарабанні ножиці призначені для розрізання готового прокату під час його руху на розміри, що відповідає довжині холодильника. Кількість ножиць – 2 штуки.

Холодильник – рейковий, двосторонній правого та лівого виконання. Складається з наступних вузлів та механізмів:

- підводячий рольганг;
- підйомні клапани;

- рихтувальний пристрій;
- нерухомі гребінчасті системи;
- рухома гребінчаста система;
- передавальний пристрій;
- приводи механізмів холодильнику;
- відвідний рольганг.

Підвідний рольганг складається з 121 роликів, що мають індивідуальний привід від електродвигунів, ролики мають крок 1000 мм, загальна довжина рольганга дорівнює 126 м, швидкість переміщення рольгангу може регулюватися в широких межах, перевищує швидкість прокатування на 5 %. Ролики встановлюють під нахилом до горизонту у бік підйомних клапанів на  $10^{\circ}$ . Використовують 4-х жолобчасте рихтувальне пристосування. Нерухома гребінчаста система має у своєму складі 123 пари рейок. Кожна пара складається з зубчастої рейки та лінійки з плоскою поверхнею. Усі рейки мають нахил до осі холодильника 1:25.

Рухома гребінчаста система має у своєму складі 216 рейок та вантажне урівноваження.

Передавальний пристрій складається з грат, має довжину 125 м. Ножиці холодного розрізання встановлені за відвідним рольгангом холодильника і призначені для різання розкату на мірні довжини. Їх кількість – 2, праве виконання. Мають верхній ніж похилий, а нижній – горизонтальний. Максимальне зусилля різку дорівнює 630 Кн.

#### **1.4 Аналіз роботи прокатного стану ДС 250 1**

Багато уваги приділяється витраті металу та сплаву при прокатування. Відповідно до нормативів та статистичних даних на ДС 250-1 витратний коефіцієнт дорівнює від 1,03 до 1,035, і може збільшуватися цей коефіцієнт за рахунок втрати металу на обрізі.

Існують витрати металу при нагріванні вихідних матеріалів на чад, при охолодженні та термічній обробці складає приблизно від 1,0 до 1,5 %. При розрізанні розкатів приблизно 50 % витрат металу йде на обріз. Виникає брак продукції, який складає від 0,5 до 0,75 % на недокати та гнуття. Цей брак йде на переплавку або поставляють як обріз.

Плановий та фактичний витратний коефіцієнт для прокатного стану ДС 250-1 наведено у табл. 1.4.

Таблиця 1.4 – Витратний коефіцієнт

Плановий		Фактичний	
Статті витрат	кількість	Статті витрат	Кількість
Чад	0,018	Чад	0,016
Окалина	0,012	Окалина	0,015
Обріз	0,0132	Обріз	0,0152
Брак	0,0008	Брак	0,0007
Разом	0,044	Разом	0,045

З таблиці видно, що фактичний коефіцієнт витрати металу декілька перевищує плановий, тому потрібно пропозиції для його зменшення

### **1.5 Пропозиції щодо удосконалення прокатного стану ДС 250 1**

Безперервний дрібносортовий прокатний стан ДС 250 1 було введено в експлуатацію у 1956 році. На даний час основне та допоміжне обладнання прокатного стану морально застаріло і не дозволяє забезпечити необхідну економічність процесу виготовлення прокату і його високу якість. В роботі прокатного стану виникають значні втрати металу, має дуже високий витратних коефіцієнт. Насамперед постає актуальна задача – поліпшити якість прокату та підвищити продуктивність прокатного стану.

Для поліпшення якості отриманого прокату потрібно виконати наступне:

- застаріле устаткування чистових груп клітей демонтувати;
- для підвищення точності сортового прокату встановити блоки чистових клітей, що забезпечать високу якість прокату;
- збільшити швидкість прокатування;
- збільшити зносостійкість прокатних валків, використовуючи карбідовольфрамкові матеріали;
- простої прокатного стану звести до мінімуму;
- виконати реконструкцію рольгангу зменшенням діаметру роликів до 320 мм.

## РОЗДІЛ 2 ІНОВАЦІЙНА ЧАСТИНИ

### 2.1 Чистовий блок клітей

Для удосконалення технології з метою отримання продукції з підвищеною якістю та збільшеною продуктивністю в роботі внесені зміни до чистової кліті (рис. 2.1).

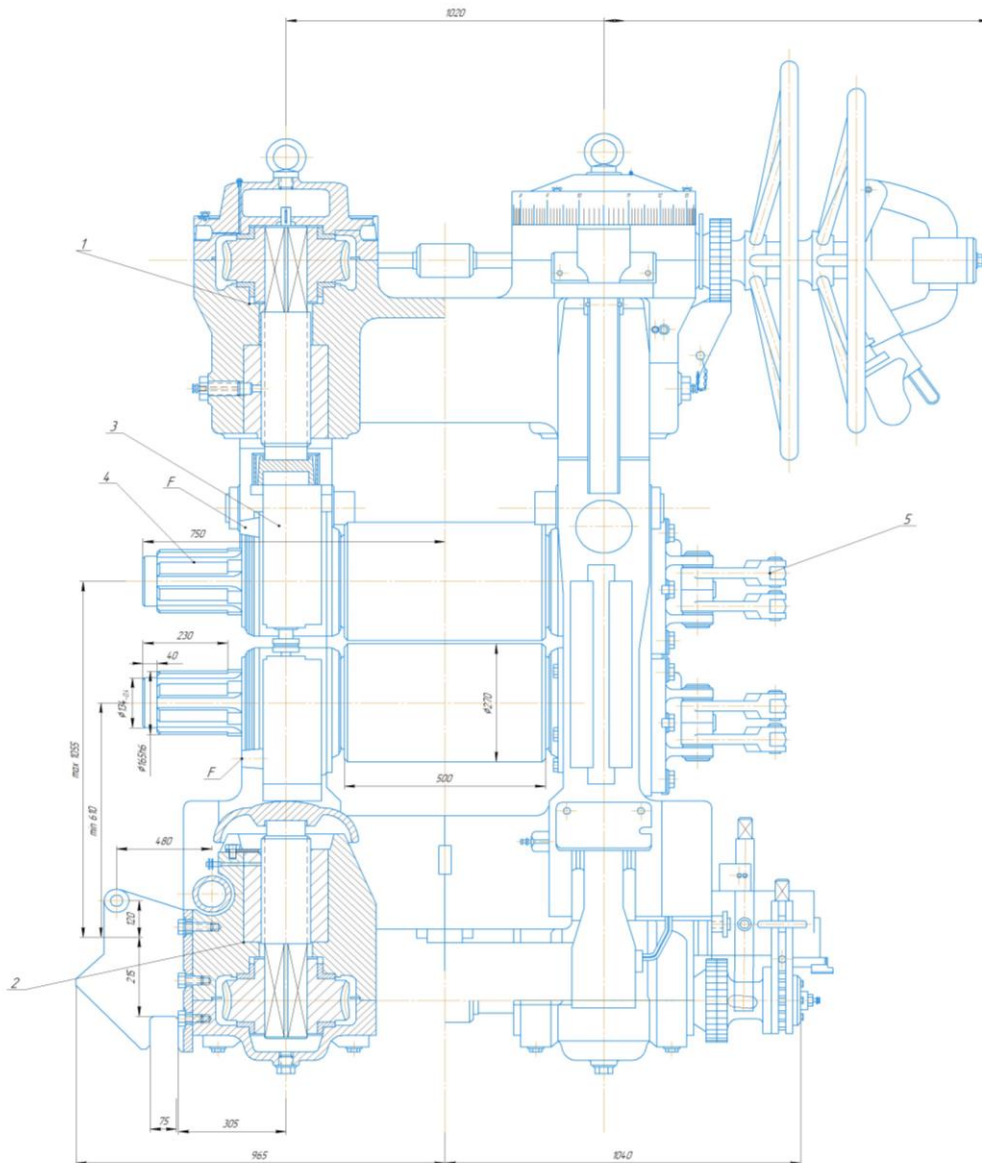
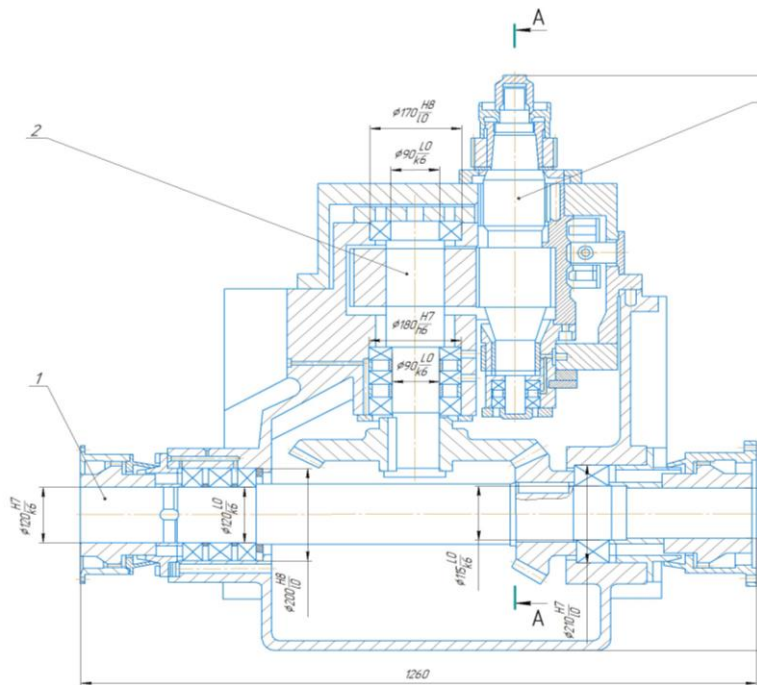


Рисунок 2.1 – Чистова кліть: 1 – натискний механізм верхнього валка; 2 – натискний механізм нижнього валка; 3 – станина; 4 – комплект валків; 5 – механізм осевого регулювання.

Натискний механізм верхнього і нижнього валка дозволяють регулювати зазори між прокатними валками, що забезпечує отримання точних розмірів виробу.

Основна частина чистової кліті це чистовий блок (рис. 2.2.), де і відбуваються основні навантаження і забезпечує відповідну якість і продуктивність процесу.



A-A

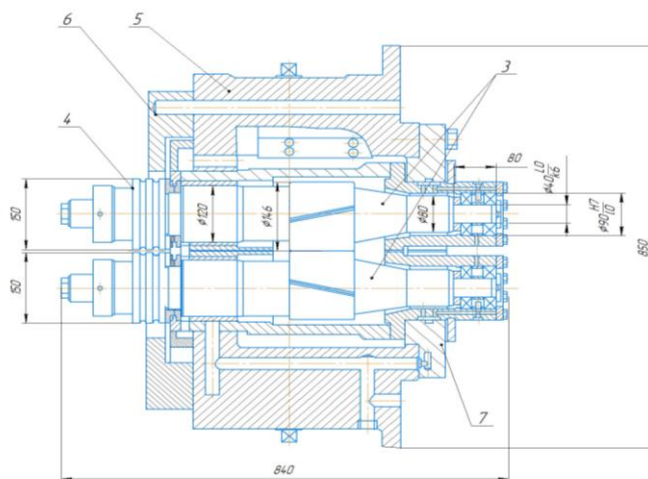


Рисунок 2.2 – Чистовий блок: 1 – вузол конічної шестерні; 2 – вузол конічного зубчастого колеса; 3 – вузол вал-шестерні валків; 4 – шайба прокатна; 5 – станина.

Пропонується встановити чистовий блок клітей, який завдяки своїй конструкції покращить точність отриманого виробу, якість поверхні дроту, збільшить швидкість прокатування і, відповідно, продуктивність обробки. Блок чистових клітей у своєму складі має валки та арматуру, що утворюють єдиний технологічний комплекс, легко налаштовується, має стійку конструкцію. Саме налаштування блока і визначає продуктивність процесу і якість прокату.

До складу блока входять наступні механізми:

- вузол конічної шестерні;
- вузол конічного зубчастого колеса;
- вузол валу-шестерні прокатних валків;
- шайба прокатна;
- станина;
- дві кришки.

Для забезпечення тривалої зносостійкості прокатних валків використовується надто твердий матеріал. Таким матеріалом є сплав карбіду вольфраму з кобальтом, що здатне забезпечити високошвидкісне прокатування, за рахунок чого скорочується такт прокатування, та збільшується продуктивність процесу. Чистовий блок має у своєму складі валкову арматуру кочення. Встановлюється ввідна роликів арматура, що забезпечує точне завдання та утримання овального розкату в ребровому калібрі, що переважно застосовується для отримання круглих профілів. Також відбувається, завдяки чистовому блоку завдання ребрового овалу у овальний калібр.



В чистовому блоці відбувається безперервне одониткове прокатування, кантування відсутнє, присутній невеликий натяг як у горизонтальних та і у вертикальних прокатних клітях консольного типу, які чергуються між собою.

Вертикальні і горизонтальні валки уявляють собою касети, що чергуються між собою. Горизонтальні касети мають овальні калібри, вертикальні – реброві, що забезпечує отримання якісної смуги.

Валки чистового блоку мають підшипники ковзання.

Складається чистовий блок з десяти клітей у одну нитку, що мають груповий привод від двох електричних двигунів постійного струму потужністю по 1500 кВт кожен. Межа регулювання частоти обертання двигунів знаходиться у межах 100÷800÷1200 об/хв.

Встановлюється чистовий блок клітей на подвійній фундаментній плиті з корпусами, що мають загальну масу 16500 кг.

Цей блок має наступні габарити:

- довжина – 6970 мм;
- ширина – 1700 мм;
- висота – 1150 мм.

Блок складається з касет, що мають розміри:

- валкові касети, діаметром 190 мм, в кількості 5 шт;
- валкові касети, діаметром 150 мм, в кількості 5 шт;
- корпуси основні, діаметром 190 мм, в кількості 3 шт;
- корпуси основні, діаметром 190 мм, в кількості 2 шт;
- корпуси основні, діаметром 150 мм, в кількості 5 шт;
- касети редукторів, діаметром 190 мм, в кількості 5 шт;
- касети редуктора, діаметром 150 мм, 5 шт;
- плита фундаментна; в кількості 1 шт;
- муфта головна, в кількості 1 шт.

На масивній основній рамі з литої сталі розташовуються 10 клітей блоку, горизонтальних, і вертикальних, які чергуються між собою.

Кожні секції мають у своєму складі основний корпус, валкові касети, редуктори.

Зв'язок між редуктором і валковими касетами відбувається безперервно через передачу з внутрішнім зачепленням.

Валкові касети встановлюють в блок повністю змонтованими і настроєними.

## 2.2 Універсальні кульові шпинделі

Універсальний кульовий шпиндель це привод робочих валків, який служить для з'єднання шпинделів з зубчастими муфтами і передачі крутячого моменту, що відбувається не зубчастим зачепленням шарнірних напівмуфт, а через ланку лунка – шар – паз. Така передача моменту здійснюється через кулю, що є змінним елементом і має бочко подібність, що дорівнює півсфері.

На рисунку 2.1 показаний загальний вигляд універсального кульового шпинделя для приводу робочих валків горизонтальних клітей.

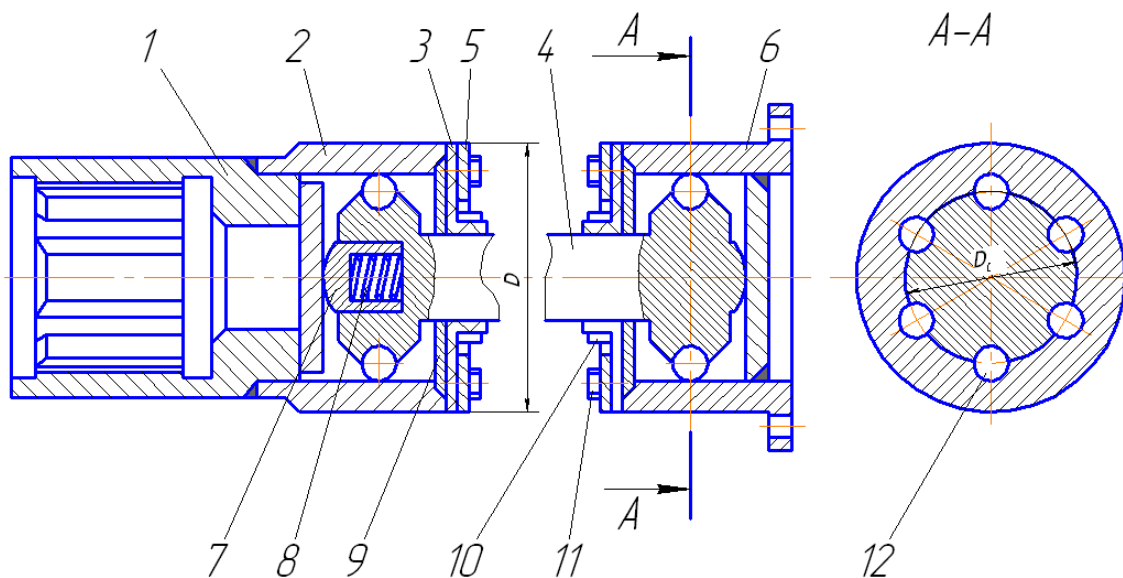


Рисунок 2.1 - Загальний вигляд універсального кульового шпинделя:

1 –шліцева муфта; 2 –обойма; 3 – манжет; 4 –вал шпинделя; 5 –кришка; 6 – обойма з фланцем; 7-ковпак; 8 –пружина; 9 –шайба, що обмежує нахил валу; 10 – дріт; 11 –болтове з'єднання; 12 –куля.

Торцева пружина, що встановлено на одному з шарнірів, забезпечує осьовий рух шпинделю. Вал шпинделю може бути виконано у декількох варіантах: як цілісний, так і мати окремі головки. Шліцьові муфти центруються щодо валу. Таке центрування забезпечується по сферичній головці валу та виточці обойми.

Усі порожнини, що має шарнір заповнюються рідким мастилом. Така конструкція відрізняється простотою і дешева у виготовленні, є доволі зручна і надійна в експлуатації, дозволяє передавати обертання із значними кутами нахилу шпинделя, що може дорівнювати до 0,117 радіан. Конструкція забезпечує рівномірне обертання валів, що з'єднуються, значно зменшує зусилля, що виникає у підшипникових опорах та у шарнірах і добре утримує мастило.

Для забезпечення міцності та надійності в роботі особливі вимоги пред'являють до матеріалу шарнірів. Для підвищення міцності шарнірів універсального кульового шпинделя використовують ковану леговану сталь, яка є надійною в роботі та доволі тривкою. Для виготовлення головок шпинделю та обойми використовують хромисту, хромонікелеву та хромомарганцевисту сталь – 40Х, 40ХН, 35ХН3А, 35ХГСА; для виготовлення куль використовують шарикопідшипникову сталь ШХ15, ШХ15СГ. Кулі мають стандартні розміри, піддають термічній обробці, що забезпечує твердість поверхні 62-66 НРС.

Головки шпинделю також піддають термічній обробці з метою отримання твердості матеріалу за шкалою Бринеля 500НВ.

При роботі універсального кульового шпинделю виникають контактні напруження. Їх величини залежать від ряду чинників таких як: циклічності змінних навантажень, змащення, динамічних навантажень, вибору матеріалу, його термічної обробки тощо.

Допустимі контактні напруження визначають більше з врахуванням двох останніх чинників: матеріалу та термічної обробки. При умові точкового контакту для з'єднання куля – лунка – головки матимемо розрахункову формулу:

$$[\sigma_{HB}] = (\psi_1 \div \psi_2) \sigma_{\max} = (0,55 \div 0,74) 5000 = 2750 \div 3700 \text{ МН/м}^2, \quad (2.1)$$

де  $[\sigma_{HB}]$  – допустимі контактні напруження, що виникають у лунках головки залежно від твердості HB;

$\psi_1$  и  $\psi_2$  – поправки для точкового контакту на  $[\sigma_{HB}]$  відповідно при твердості матеріалу за шкалою Бринеля 400 і 500 HB;

$\sigma_{\max}$  – допустиме контактне напруження в підшипниках кочення для кулі.

При роботі кульового шпинделю виникає лінійний контакт у з'єднанні куля – циліндричний паз обойми. Для визначення напруження, що виникає на цій ділянці використовується формула:

$$[\sigma_{HB}] = (\psi'_1 \div \psi'_2) \sigma_{\max} = (0,42 \div 0,63) 5000 = 2100 \div 3150 \text{ МН/м}^2, \quad (2.2)$$

де  $[\sigma_{HB}]$  – допустимі контактні напруження, що виникають у циліндричних пазах обойми залежно від твердості поверхні дотику за Бринелем 400 і 500 HB.

Такі універсальні кульові шпинделі себе дуже добре зарекомендували в роботі, витримують навантаження, що діють на них, здатні замінити шпинделі, які працюють на бронзових вкладниках та підшипниках кочення.

Розрахунок шпинделів ведеться за двома принципами. Перший принци полягає у тому, що потрібно точно визначити необхідний кут нахилу шпинделя, який залежить від допустимих розмірів між елементами шарніру таких, як лунка головки шпинделя – куля- циліндричний паз обойми. Другий принцип полягає у тому, що розрахунок ведеться з умов забезпечення міцності шпинделю, його надійної та довговічної роботи, з врахуванням матеріалу і необхідної термічної обробки.

Для розрахунку шпинделю потрібно визначити початкові дані, до яких входять:

1. Діаметр прокатного валка  $D_6 = 360 \text{ мм}$ .
2. Момент прокатування дорівнює  $M_{пр} = 364 \text{ кНм}$ .
3. Визначаємо крутячий момент, що передається одним шпинделем:

$$M_{кр} = \frac{M_{кр}}{2} = \frac{36,4}{2} = 18,2 \text{ кНм}. \quad (2.3)$$

Діаметр головки шпинделя дорівнює  $D_{ш} = 330 \text{ мм}$ .

Визначаємо радіус кола, що проходить через центр куль за формулою:

$$R_0 = (0,275 \div 0,350)D_{ш}. \quad (2.3)$$

Приймаємо середній коефіцієнт 0,312 і одержуємо наступне:

$$R_0 = 0,312 \cdot 0,33 = 0,1 \text{ м}. \quad (2.4)$$

Визначаємо зусилля, що діє на кулю:

$$P_0 = \frac{M_{кр.}}{1,732 \cdot R_0} = \frac{18,2 \cdot 10^3}{1,732 \cdot 0,1} = 105081 \text{ Н}. \quad (2.5)$$

Діаметр кулі з врахуванням зусилля знаходимо за формулою:

$$d_0 = \sqrt{\frac{P_0 - n}{470 \cdot 10^6}} = \sqrt{\frac{105081}{470 \cdot 10^6}} = 0,0478 \text{ м}, \quad (2.6)$$

де  $n$  - коефіцієнт запасу міцності.

Приймаємо стандартне значення діаметру  $d_0 = 50,8 \text{ мм}$  по довіднику [7].

Розраховуємо максимально допустимий кут нахилу шпинделя

$$\begin{aligned} [\alpha_{\max}] &= \frac{1}{57,3} \arccos \left[ 1 - \frac{r}{R_0} \left( 1 - \sqrt{\frac{8\delta\rho}{r^2}} \right) \right] = \\ &= \frac{1}{57,3} \arccos \left[ 1 - \frac{25,6}{100} \left( 1 - \sqrt{\frac{8 \cdot 0,2 \cdot 25,4}{25,6^2}} \right) \right] = 0,127 \text{ рад} = 7^\circ 17' \end{aligned} \quad (2.7)$$

де  $\rho$  – радіус кулі;

$r$  – радіус лунки під кулю;

$\delta$  – радіальний зазор при центральному положенні кулі у шпинделі.

$[\alpha_{\max}]$  повинен задовольняти умові

$$[\alpha_{\max}] \geq \alpha_{\max}, \quad (2.8)$$

де  $\alpha_{\max}$  – максимальний кут нахилу шпинделя при прокатуванні у кліті чорнової

групи прокатного стану 250-1.

Максимальний кут дорівнює:

$$\alpha_{\max} = \frac{1}{57,3} \operatorname{arctg} \frac{D_{\max} - D_{\min}}{L} = \frac{1}{57,3} \operatorname{arctg} \frac{400 - 340}{1000} = 0,06 \operatorname{rad} = 3^{\circ} 12', \quad (2.9)$$

де  $L$  – відстань між двома шарнірами шпинделя;

порівнюємо максимальний кут з допустимим, де видно, що  $[\alpha_{\max}] > \alpha_{\max}$ ,

Значить максимальний кут нахилу менший за допустимий, що свідчить про те, що умова виконана.

Визначимо максимальні контактні напруження кулі та лунки за формулою:

$$\sigma_{\max} = \frac{3\rho_0}{2\pi a'^2} = \frac{3 \cdot 105081}{2 \cdot 3,14 \cdot 0,0117^2} = 367 \text{ МН} / \text{м}^2, \quad (2.10)$$

де  $a'$  – радіус контактної площі, м, визначається за формулою:

$$a' = \sqrt[3]{\frac{3\rho_0(\theta_1 + \theta_2)}{8(\rho_{11} + \rho_{12} + \rho_{21} + \rho_{22})}} = \sqrt[3]{\frac{3 \cdot 105081 \cdot 3,52 \cdot 10^{-11}}{8 \cdot 0,6}} = 0,0116 \text{ м}, \quad (2.10)$$

де  $\theta_1$  і  $\theta_2$  – коефіцієнти пружності, на які впливає модуля пружності матеріалу, визначаються за формулою:

$$\theta_1 = \frac{4(m_1^2 - 1)}{E_1 - m_1^2} = \frac{4(3^2 - 1)}{2,08 \cdot 10^{11} \cdot 3^2} = 1,71 \cdot 10^{-11}, \quad (2.11)$$

де  $E_1$  і  $E_2$  – модулі пружності стиснення виробу;

$m_1$  і  $m_2$  - коефіцієнти, що виражають відношення повздовжнього подовження стрижня при деформації до поперечному перерізу.

$\rho_{11}, \rho_{12}, \rho_{21}, \rho_{22}$  – величини, зворотні радіусам головної кривизни першого і другого тіл в точці дотику при контакті кулі з увігнутою поверхнею. Значення  $\rho_{21}$  і  $\rho_{22}$  беруться із знаком мінус через те, що вони протилежно спрямовані і дорівнюють:

$$\rho_{11} = \rho_{12} = \frac{1}{\rho} = \frac{1}{0,0254} = 39,4 \text{ м}^{-1}; \quad (2.12)$$

$$\rho_{21} = \rho_{22} = \frac{1}{2} = \frac{1}{0,0256} = 39,1 \text{ м}^{-1}; \quad (2.13)$$

$$\rho_{11} + \rho_{12} + \rho_{21} - \rho_{22} = 39,4 + 39,4 - 39,1 - 39,1 = 0,6 \text{ м}^{-1}. \quad (2.14)$$

Максимальні контактні напруження при взаємодії кулі і циліндрового паза дорівнює:

$$\sigma_{\max} = \frac{3\rho_0}{2\pi ab} = \frac{3 \cdot 105031}{2 \cdot 3,14 \cdot 0,0016 \cdot 0,044} = 713 \text{ мН / м}^2, \quad (2.15)$$

де  $a$  і  $b$  – велика і мала піввісь еліпса, визначаються за формулою:

велика співось:

$$a = \mu^3 \sqrt{\frac{3\rho_0(\theta_1 + \theta_2)}{8(\rho_{11} + \rho_{12} + \rho_{21} + \rho_{22})}} = 10,7^3 \sqrt{\frac{3 \cdot 121743 \cdot 3,52 \cdot 10^{-11}}{8 \cdot 39,7}} = 0,044 \text{ м}; \quad (2.16)$$

мала співось дорівнює:

$$b = \nu^3 \sqrt{\frac{3\rho_0(\theta_1 + \theta_2)}{8(\rho_{11} + \rho_{12} + \rho_{21} + \rho_{22})}} = 0,25^3 \sqrt{\frac{3 \cdot 121743 \cdot 3,52 \cdot 10^{-11}}{8 \cdot 39,7}} = 0,001 \text{ м}. \quad (2.17)$$

Радіуси кривизни дорівнюють:

$$\rho_{11} = \rho_{12} = \frac{1}{\rho} = \frac{1}{0,0254} = 39,4 \text{ м}^{-1}; \quad (2.18)$$

$$\rho_{21} = \frac{1}{2} = \frac{1}{0,0256} = 39,1 \text{ м}^{-1}, \quad (2.19)$$

Дотичні контактні напруження, що виникають між двома взаємодіючими деталями знаходить за формулою:

$$\tau = \frac{\sqrt{(\rho_{11} - \rho_{12})^2 + 2(\rho_{11} - \rho_{12})(\rho_{21} - \rho_{22})\cos 2\omega + (\rho_{21} - \rho_{22})^2}}{\rho_{11} + \rho_{12} + \rho_{21} + \rho_{22}} = \frac{39,1}{39,7} = 0,985, \quad (2.20)$$

де  $\omega$  – кут між відповідними площинами головних перерізі деталей, що взаємодіють між собою.

Таким чином, розрахунки показали, що при роботі механізму виникають дотичні контактні напруження в головці шпинделя, які приймають значення, що нижчі за допустимі.

Максимальні контактні напруження кулі і лунки приймають значення:

$$\sigma_{max} = 713 \text{ МН} / \text{м}^2 < [\sigma_{max}] = 2100 \div 3150 \text{ МН} / \text{м}^2. \quad (2.21)$$

Максимальні контактні напруження кулі і паза, що розташовано на циліндрі приймає значення:

$$\sigma_{max} = 713 \text{ МН} / \text{м}^2 < [\sigma_{max}] = 2100 \div 3150 \text{ МН} / \text{м}^2. \quad (2.22)$$

Для забезпечення рівномірного руху встановлено ролик

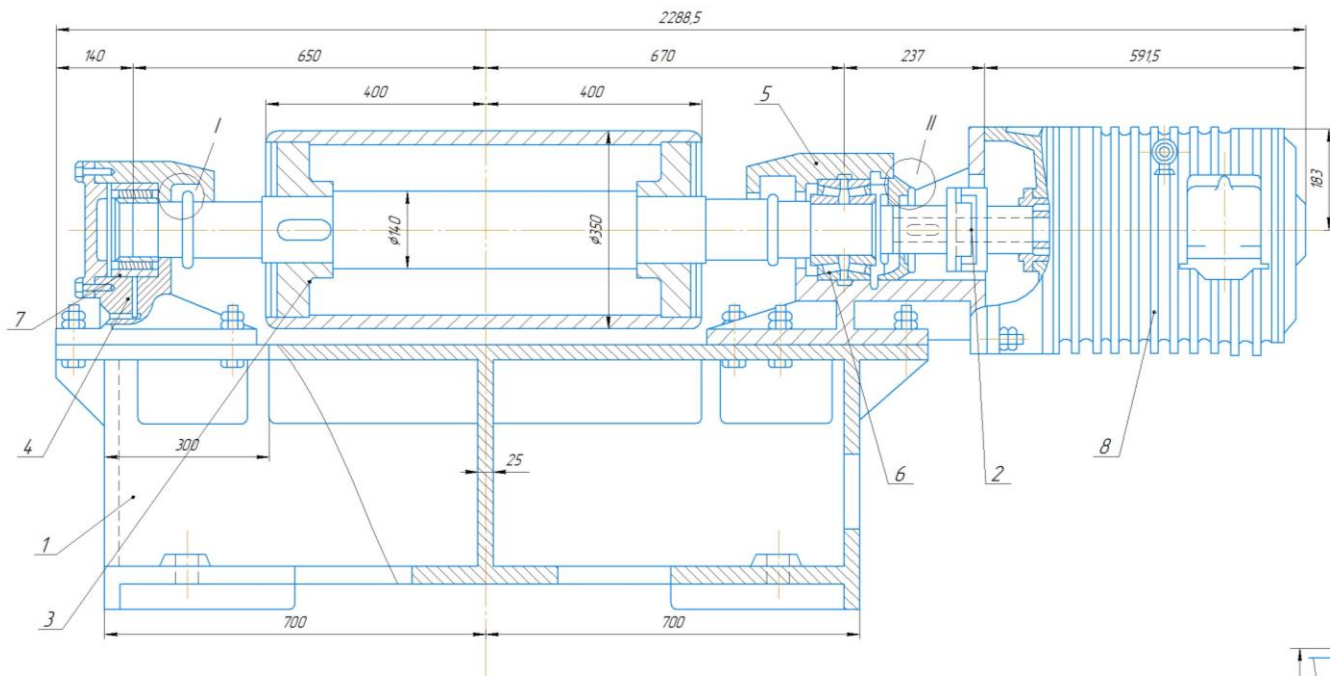


Рисунок 2.4 – Роликове регулювання руху: 1 – рама; 2 – муфта; 3 – ролик; 4 – кришка ліва; 5 – кришка права; 6 – підшипник, 7 – підшипник; 8 – двигун

Ролик встановлено на шпинделі, який з'єднано з муфтою і закріплено на рамі.



### 2.3 Визначення параметрів прокатування та режимів обтиснення

Потрібно виконати розрахунок блочних клітей. Розрахунок параметрів прокатування та режимів обтиснення проводимо, використовуючи наступні початкові дані:

-чистовий блок складається з десяти клітей.

- Діаметри валків блочних клітей: 150 мм – в клітях останніх п'яти клітях і 190 мм – в клітях в передостанніх п'яти клітях чистової групи.

Чорнова група клітей має сім прокатних валків, діаметри яких дорівнюють 380 мм.

- Окружна швидкість валків останньої чистовій кліті буде дорівнювати  $v_{17} = 20 \text{ м/с}$ .

Розміри початкової заготовки, що надходить до першої чорнової прокатної кліті дорівнюють 80x80 мм.

Визначаємо розміри початкового овального перерізу, що виходить з чорнової групи клітей, а саме з сьомої прокатної кліті буде дорівнювати:

$$h_7 b_7 = 33,5 \cdot 28 = 737 \text{ мм} . \quad (2.23)$$

Було визначено, що якісний виріб круглого поперечного перерізу забезпечить система калібрів: у чистовій групі клітей, що входять до чистового блоку:– овал – ребровий овал. У перших трьох клітях чорнової групи будемо використовувати калібри прямокутні ящикової форми, в наступних клітях – овал – ребровий овал.

Виконуємо розрахунок калібрування валків чистового блоку для системи калібрів овал - ребровий овал. Таку систему калібрів використовується для прокатування круглої сталі діаметром 10 мм в чистовій групі клітей безперервного стану з діаметром валків  $D = 150 \text{ мм}$ .

Розрахунок починаємо з визначення площі чистового круга в останній кліті, яка дорівнює:

$$Q_{17} = \frac{\pi d_{17}^2}{4} = \frac{\pi \cdot 10^2}{4} = 80 \text{ мм}^2. \quad (2.24)$$

Коефіцієнт витяжки в чистовому калібрі 17-ї кліті за практичними даними буде дорівнювати:  $\mu_{17} = 1,14$ .

Враховуючи коефіцієнт витяжки розраховуємо площу передчистового овального калібру 16 кліті, буде рівною:

$$Q_{16} = \mu_{17} Q_{17} = 1,14 \cdot 80 = 91 \text{ мм}^2. \quad (2.25)$$

При прокатуванні в чистовому калібрі відбувається розширення металу, яке буде дорівнювати:

$$\Delta b = 0,03\sqrt{D}\sqrt{d} = 0,03\sqrt{150}\sqrt{10} \approx 1,2 \text{ мм}, \quad (2.26)$$

де  $D$  – номінальний діаметр бочки прокатного валків;

$d$  – діаметр чистового останнього калібру.

Визначаємо площу передчистового овалу у передчистовому калібрі блочної кліті. Товщина цього овального калібру буде дорівнювати:

$$b_{16} = 10 - 1,2 = 8,8 \text{ мм}.$$

Висота овального калібру прийме значення:

$$h_{16} = \frac{Q_{16}}{0,74b_{16}} = \frac{91}{0,74 \cdot 8,8} = 14 \text{ мм}.$$

Потрібно виконати перевірку розширення, щоб не було переповнення калібру, яке відбувається у чистовому круглому калібрі блокової кліті, виходячи з того, що діаметр цього останнього валка дорівнює  $D_{17} = 150 \text{ мм}$ .

$$\begin{aligned} \Delta b &= (0,25 \div 0,30) \frac{\Delta h_c}{h_0 b_c} \sqrt{\Delta h_c R_{к.с}} = \\ &= (0,25 \div 0,3) \frac{2,4}{10,4} \sqrt{(10,4 - 8)71} = (0,75 \div 0,90) \text{ мм}, \end{aligned} \quad (2.27)$$

де коефіцієнт обтиснення дорівнює:  $\Delta h_c = \frac{80}{10} = 8 \text{ мм}$ ; тоді

$$h_0 b_c = 0,74 \cdot 14 = 10,4 \text{ мм};$$

катаючий радіус дорівнює  $R_{к.с} = 0,5(150 - 8) = 71$  мм.

Визначаємо розміри ребрового овалу 15 кліті. Для цього приймаємо, що витяжка у передчистовій 16 кліті дорівнює  $\mu_{16} = 1,17$ .

Тоді, площа овального калібру, враховуючи коефіцієнт витяжки, дорівнює:

$$Q_{15} = 1,17 \cdot 91 \text{ мм} = 106 \text{ мм}^2.$$

Ребровий овал в 15 калібрі, що відноситься до чистового блоку, має наступні розміри:

Відношення висоти овалу до ширини дорівнює:  $h_{p.ов} / b_{p.ов} = 1,2$ :

$$\text{Площа поперечного перерізу дорівнює: } Q_{15} = 0,9b_{15}^2;$$

$$\text{Ширина п'ятнадцятого калібру дорівнює: } b_{15} = \sqrt{1,11 \cdot 106} = 10,8 \text{ мм};$$

$$\text{Висота п'ятнадцятого калібру буде рівною: } h_{15} = 1,2 \cdot 10,8 = 13 \text{ мм}.$$

Виконаємо перевірку величини розширення в овальному калібрі, якщо діаметр прокатних валків в 16 кліті дорівнює:  $D = 150$  мм

$$\Delta b = 0,45 \frac{0,75 \cdot 10,8 - 0,74 \cdot 8,8}{0,75 \cdot 10,8} \times \\ \times \sqrt{0,5(0,75 \cdot 10,8 - 0,74 \cdot 8,8)(150 - 0,75 \cdot 10,8)} = 0,9 \text{ мм}.$$

Простір на розширення в овалі чистового блоку буде дорівнювати:

$$\Delta b = h_{16} - h_{15} = 14 - 13 = 1 \text{ мм}.$$

Величина розширення не перевищує допустимі межі, калібр не переповнено.

У наступних блочних клітках для систем калібрувань овал – ребровий овал у розрахунку використаємо те, що маємо парні калібри, які мають загальний коефіцієнт витяжки:

$$\mu_{обц} = \mu_1 \mu_2 \mu_3 \mu_4. \quad (2.28)$$

Поперечний переріз овального калібру, який виходить з сьомої кліті чистової групи буде дорівнювати:

$$Q_7 = 737 \text{ мм}^2;$$

розміри цього ж калібру будуть дорівнювати:

$$h_7 b_7 = 33,5 \cdot 28 \text{ мм.}$$

Загальна витяжка в чистових калібрах буде дорівнювати:

$$\mu_{\text{общ}} = \frac{Q_7}{Q_{15}} = \frac{737}{106} = 6,95. \quad (2.29)$$

Середня витяжка між сусідніми ребровими овалами буде дорівнювати:

$$\mu = \mu_{p.ов} \mu_{ов} = \sqrt[4]{6,95} = 1,624. \quad (2.30)$$

Коефіцієнти витяжки за практичними даними приймаємо наступні:

$$\mu_{\text{общ}} = \mu_1 \mu_2 \mu_3 \mu_4 = 1,77 \cdot 1,65 \cdot 1,59 \cdot 1,50 = 6,96. \quad (2.31)$$

Тоді площі ребрових овалів відповідних калібрів будуть дорівнювати відповідно для наступних калібрів:

$$\text{Для сьомого калібру дорівнює} - Q_7 = 737 \text{ мм}^2;$$

$$\text{Для дев'ятого калібру} - Q_9 = \frac{Q_7}{\mu_1} = \frac{737}{1,77} = 416 \text{ мм}^2;$$

$$\text{Для одинадцятого калібру} - Q_{11} = \frac{Q_9}{\mu_2} = \frac{416}{1,65} = 252 \text{ мм}^2;$$

$$\text{Для тринадцятого калібру} - Q_{13} = \frac{Q_{11}}{\mu_3} = \frac{252}{1,59} = 159 \text{ мм}^2;$$

$$\text{Для п'ятнадцятого калібру} - Q_{15} = \frac{Q_{13}}{\mu_4} = \frac{159}{1,50} = 106 \text{ мм}^2.$$

Визначаємо розміри відповідних ребрових овалів, знаючи відношення висоти до ширини овалу  $h_{p.ов} / b_{p.ов} = 1,2$ .

Ці розміри будуть дорівнювати:

$$\text{Для сьомої кліті: } h_7 b_7 = 33,5 \cdot 28 \text{ мм};$$

$$\text{Дев'ятої кліті: } h_9 b_9 = 25,8 \cdot 21,5 \text{ мм};$$

$$\text{Одинадцятої: } h_{11} b_{11} = 20 \cdot 16,7 \text{ мм};$$

$$\text{Тринадцятої: } h_{13} b_{13} = 16 \cdot 13,3 \text{ мм};$$

$$\text{Пятнадцятої: } h_{15} b_{15} = 13 \cdot 10,8 \text{ мм}.$$

Визначаємо розміри проміжних овалів і овальних калібрів.

Коефіцієнт витяжки у восьмій кліті буде дорівнювати:

$$l = \frac{\mu_9 - 1}{\mu_8 - 1} = 0,8. \quad (2.32)$$

Після підстановки, отримаємо коефіцієнт витяжки у восьмому калібрі дорівнює:

$$\mu_{088} = \frac{\sqrt{0,09 + 3,2\mu_1 - 0,2}}{1,6} = \frac{\sqrt{0,09 + 3,2 \cdot 1,77 - 0,2}}{1,6} = 1,37; \quad (2.33)$$

У дев'ятій кліті

$$\mu_9 = \frac{\mu_1}{\mu_8} = \frac{1,77}{1,37} = 1,29. \quad (2.34)$$

Показники розширення для восьмої кліті буде рівним

$$K_8 = \frac{1,5 + (1,0 + 0,005D_8)}{\sqrt{b_7} + 0,05b_7} = \frac{1,5 + (1,0 + 0,005 \cdot 190) \cdot 1,37}{\sqrt{28} + 0,05 \cdot 28} = 0,62; \quad (2.35)$$

Показник розширення для дев'ятої кліті:

$$K_9 = \frac{0,002 \cdot D_9 + 0,4\mu_9}{\sqrt[4]{b_9} + 0,05b_9} = \frac{0,002 \cdot 190 + 0,4 \cdot 1,29}{\sqrt{28} + 0,05 \cdot 28} = 0,28. \quad (2.36)$$

Висота і товщина овалу в восьмій прокатній кліті дорівнює:

$$\begin{aligned} h_8 &= \frac{(1,2 + 0,75k_8)b_7 - k_8h_9(0,74 + 0,67 \cdot 0,28)}{1 \cdot 0,55 \cdot 0,62 \cdot 0,28} = \\ &= \frac{(1,2 + 0,75 \cdot 0,62)28 - 0,62 \cdot 21,5(0,74 + 0,67 \cdot 0,28)}{1 \cdot 0,55 \cdot 0,62 \cdot 0,28} = 37,9 \text{ мм}; \end{aligned} \quad (2.37)$$

$$b_8 = b_9 - k_9(0,74h_8 - 0,75h_9) = 19,1 \text{ мм}.$$

Дані розрахунку заносимо у таблицю 2.1.

Виконуємо розрахунок проміжних і чорнових калібрів.

Загальна витяжка в чорновій групі клітей дорівнює:

$$\mu_{\text{оби}} = \frac{6400}{737} = 8,68,$$

де площа поперечного перерізу початкового матеріалу:

$$Q_0 = 0,97 \cdot 81 \cdot 81 = 6400 \text{ мм}^2.$$

У першій чорновій кліті приймаємо витяжку  $\mu_1 = 1,20$ , тоді у останніх чорнових клітях загальний коефіцієнт витяжки буде рівним:

$$\mu_{2-7} = \frac{8,68}{1,20} = 7,24.$$

Середня витяжка на кожну пару калібрів у чорнових клітях буде дорівнювати:

$$\mu_{cp} = \sqrt[3]{7,24} = 1,93.$$

Приймаємо коефіцієнти витяжки за окремими клітями:

$$\mu_{2-3}\mu_{4-5}\mu_{6-7} = 1,69 \cdot 2,22 \cdot 1,93 = 7,24.$$

Визначаємо площі розкати за окремими чорновими проходами:

$$\text{Площа початкового матеріалу: } Q_0 = 6400 \text{ мм}^2;$$

Площа поперечного перерізу для першого чорнового калібру:

$$Q_1 = \frac{Q_0}{\mu_1} = \frac{6400}{1,20} = 5333 \text{ мм}^2;$$

$$Q_3 = \frac{Q_1}{\mu_{2-3}} = \frac{5333}{1,69} = 3156 \text{ мм}^2;$$

$$Q_5 = \frac{Q_3}{\mu_{4-5}} = \frac{3156}{2,22} = 1422 \text{ мм}^2;$$

$$Q_7 = \frac{Q_5}{\mu_{6-7}} = \frac{1422}{1,93} = 737 \text{ мм}^2.$$

Ребровий овал п'ятого калібру буде дорівнювати:

$$h_5 b_5 = 48 \cdot 40 \text{ мм};$$

Ширина п'ятого калібру буде дорівнювати:

$$b_5 = \sqrt{1,11 \cdot 1428} = 40 \text{ мм};$$

Висота смуги висота п'ятого калібру буде дорівнювати:

$$h_5 = 1,2 \cdot 40 = 48 \text{ мм}.$$

Визначаємо висоту та ширину проміжних та чорнових калібрів за проходами, використовуючи аналогічні розрахунки і отримані дані заносимо у таблиця 2.1.

Таблиця 2.1 Калібрування круглої сталі діаметром 10 мм при використанні чистового блоку

Номер кліті	Форма калібру	Розміри калібрів, мм				Розміри смуги				Діаметр, мм						
		висота, h, мм	ширина, b, мм	глибина врізу, s, мм	зазор, S, мм	висота, h (мм)	ширина, b (мм)	площа перерізу, Q мм <sup>2</sup>	Коефіцієнт витяжки	Обтиснення Δh, мм	Розширення Δb, мм	Номінальний діаметр D <sub>0</sub>	середній кагаючий D <sub>c</sub> , пр.	Число обертів валків, n, об/хв	Швидкість прокатки, v, м/с	Максимальний кут
1	Прямо- кутник	64	81	26	8	64	86	5334	1,2	17	5	380	319	18	0,3	20
2	Прямо- кутник	44	86	19	6	44	92	3927	1,36	20	6	380	337	23,0	0,41	21
3	Ящиковий квадрат	57	45	26	5	57	57	3156	1,24	35	13	380	325	30	0,51	29
4	Овал	34	73	15	5	34	70	2204	1,43	23	13	380	349	40	0,73	22
5	Ребро- вой овал	48	42	22	4	48	40	1422	1,55	22	6	380	344	62,5	1,13	22
6	Овал	24	58	10	4	24	57	988	1,44	16	9	380	362	85,4	1,62	18
7	Ребро- вой овал	34	30	15	3	33,5	28	737	1,34	23,5	4	380	354	117	2,17	22
8	Овал	19	40	8,3	3	38	19,1	537	1,37	8,9	4,4	190	175,0	323,7	2,98	18
9	Ребро- вой овал	26	23	11	3	26	21,5	416	1,29	12,1	2,4	190	170,6	430,6	3,85	22
10	Овал	15	32	6,3	2	29,6	14,6	315	1,32	6,9	3,8	190	179,4	540,8	5,08	16
11	Ребро- вой овал	20	18	9	2	20	16,7	253	1,25	9,6	2,1	190	174,9	693,3	6,35	20
12	Овал	11,7	25	5,1	2	23,2	11,7	195	1,30	5	3,2	190	181,6	867,4	8,25	13
13	Ребро- вой овал	16	14	7	2	16,0	13,3	159	1,22	7,2	1,6	150	138,0	1393	10,1	19
14	Овал	9,5	20	4	2	18,5	9,5	127	1,26	3,8	2,5	150	143,2	1694	12,7	13
15	Ребро- вой овал	13	11	5,5	2	13	10,8	106	1,19	5,5	1,3	150	140,2	2057	15,1	7,8
16	Овал	8,8	15	3,5	2	14	8,8	90	1,17	2	1	150	143,5	2341	17,6	6,8
17	Коло	10	11	4	2	10	10	80	1,14	4	1,2	150	142,0	2690	20,0	7,5

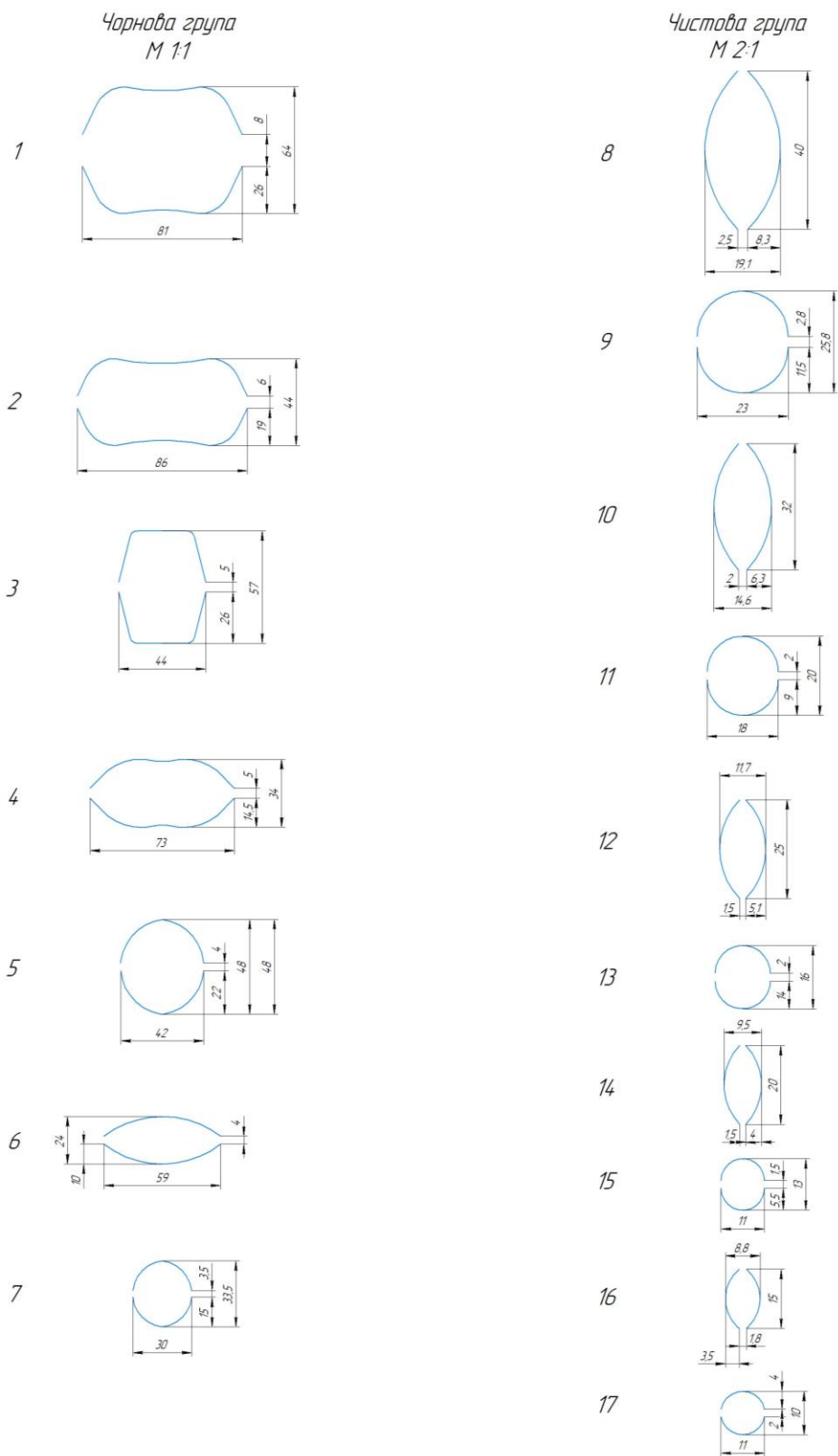


Рисунок 2.5 – Схема калібрування для отримання круглої сталі діаметром 10 мм з використанням чистового блоку



З таблиці калібрувань круглої сталі, що має діаметр 10 мм, показано розміри калібрів, що входять до чистового блоку. До складу таких калібрів надходять калібри з сьомої по сімнадцяту кліть. Чистові калібри за формою чергуються овальні та реброві овали. Показано розміри чорнових калібрів, які мають форму ящиківих та ящикового квадрату. До складу чорнових калібрів входять перші три калібри. Далі розташовано проміжні калібри, які за формою чергуються овал та ребрових овал. В таблиці представлено розміри усіх калібрів: їх висоту, ширину, глибину врізу, величину зазору між прокатними валками, яка поступово зменшується від чорнового до чистового калібру. З таблиці видно розміри усіх прокатних валків починаючи з чорнового, закінчуючи чистовим, які поступово зменшуються. Також зменшується і площа поперечного перерізу розкату від проходу до проходу. В таблиці наведено режими обтиснення, величини розширення. Видно яку витяжку отримує смуга при проходах. В таблиці наведено частота обертання прокатних валків та швидкість прокатування, де видно, що вона від чорнового проходу до чистового проходу збільшується. В таблиці показано кут захоплення, де видно, що він зменшується від чорнового до чистового проходу. Такий кут забезпечує надійне обтиснення металу.

Щоб побачити наочно розташування усіх розрахованих калібрів будемо схему калібрувань (рис.2.5). Зі схеми видно порядок розташування усіх калібрів для отримання круглої сталі, що має 10 мм. На рисунку послідовно показано розташування чорнових калібрів, до складу яких входять ящиківі та прямокутні калібри, показано проміжні калібри, до складу яких входять овальні калібри та реброві овали і показано калібри, що входять до чистового блоку клітей, де міститься десять калібрів, що мають систему овал-ребровий овал. Останній чистовий калібр входить до чистового блоку у вигляді чистового круга, розміри якого повністю співпадають з потрібними розмірами виробу. На схемі видно, що калібри, які входять до складу чорнової розташовано горизонтально, як і проміжні

калібри. Калібри чистового блоку мають почергове розташування вертикальне та горизонтальне.

Така схема калібрувань дозволяє отримати вироби з якісною поверхнею, точними розмірами та малими відхиленнями з максимальною продуктивністю через те, що є можливість підвищити швидкість прокатування. Відбувається легке настроювання, зручна експлуатація, довготривалий термін служби чистового блоку.

## 2.4 Визначення енергосилових параметрів

Розрахунок енергосилових параметрів виконаний, використовуючи методику термомеханічних коефіцієнтів. Визначимо тиск металу на прокатні валки і крутячий момент при прокатуванні вуглецевої сталі звичайної якості Ст5 діаметром 10 мм. Базисне значення напруження текучості для цієї сталі дорівнює  $\sigma_{mo}=88 \text{ Н/мм}^2$ .

При прокатуванні в чорновому ящиковому калібрі кліті 1:

Відносне обтиснення дорівнює:

$$\varepsilon = \frac{\Delta h}{h_0} 100\% = \frac{17}{81} 100\% = 21\% . \quad (2.38)$$

Швидкість деформації дорівнює:

$$u = v \frac{\Delta h}{h_0 \sqrt{R \Delta h}} = 300 \frac{17}{81 \sqrt{162 \cdot 17}} = 1,20 \text{ с}^{-1} . \quad (2.39)$$

Термомеханічні коефіцієнти, на які впливає температура, відносне обтиснення та швидкість деформації дорівнюють:

$$\begin{aligned} K_t &= 0,57 + 0,0045(1200 - t^0) \sqrt{\frac{1200 - t^0}{1180}} = ; \\ &= 0,582 = 0,57 + 0,0045(1200 - 1180) \sqrt{\frac{1200 - 1180}{1180}} = 0,582 ; \end{aligned} \quad (2.40)$$

$$K_\varepsilon = 0,82 + 0,082 \sqrt{\varepsilon} = 0,82 + 0,082 \sqrt{21} = 1,20 ; \quad (2.41)$$

$$K_u = 0,80 + 0,065\sqrt{u} = 0,80 + 0,065\sqrt{1,20} = 0,871. \quad (2.42)$$

Визначаємо середнє значення межі текучості, використовуючи термомеханічні коефіцієнти

$$\sigma_{mc} = \sigma_{mo} K_t K_\varepsilon K_u = 88 \cdot 0,582 \cdot 1,20 \cdot 0,871 = 535 \text{ H / мм}^2. \quad (2.43)$$

Параметр довжини осередку деформації у першій кліті:

$$\frac{l}{h_c} = \frac{2\sqrt{R\Delta h}}{h_0 + h_1} = \frac{2\sqrt{162 \cdot 17}}{81 + 64} = 0,72. \quad (2.44)$$

Коефіцієнт тертя:

$$\begin{aligned} f &= K_m K_\varepsilon (0,62 - 0,000251) K_v = \\ &= 1 \cdot 0,8(0,62 - 0,00025 \cdot 1180) 0,982 = 0,255; \end{aligned} \quad (2.45)$$

$$K_v = 0,4 + 0,6(1 - 0,05v)^2 = 0,4 + 0,6(1 - 0,05 \cdot 0,30)^2 = 9,82 \cdot 10^{-1}. \quad (2.46)$$

Коефіцієнт підпору в першій кліті

$$\begin{aligned} n_p &= \left(1 - \frac{l}{h_c}\right) + \frac{0,55}{\sqrt{\frac{l}{h_c}}} + 0,5\left(\frac{l}{h_c}\right)^3 = \\ &= (1 - 0,72) + \frac{0,55}{\sqrt{0,72}} + 0,5(0,72)^3 = 1,115. \end{aligned} \quad (2.47)$$

Середній контактний тиск по дну калібру дорівнює

$$P_b = \sigma_T n_p = 53,5 \cdot 1,115 = 59,7 \text{ H / мм}^2. \quad (2.48)$$

Горизонтальна проекція контактної поверхні по дну калібру

$$F = b_\kappa \sqrt{R\Delta h} = 81\sqrt{162 \cdot 17} = 4251 \text{ мм}^2. \quad (2.49)$$

Повний тиск металу на валок першої прокатної кліті дорівнює

$$P = P_b F = 59,7 \cdot 4251 = 253,8 \text{ кН}. \quad (2.50)$$

Момент, необхідний для деформації у першому ящикковому калібрі:

$$M_{np} = 2P\psi\sqrt{R\Delta h} = 2 \cdot 253,8 \cdot 0,59\sqrt{0,162 \cdot 0,017} = 15,7 \text{ кНм}; \quad (2.51)$$

$$\psi = 0,78 \cdot 0,27 \frac{l}{h_c} = 0,78 - 0,27 \cdot 0,72 = 0,59. \quad (2.52)$$

Другий та третій калібри мають подібну ящикову форму. Отриманні значення сили та моменту прокатування заносимо у табл. 2.2.

Четвертий калібр має овальну форму.

Площа поперечного перерізу овального калібру :

$$F = b_1 S + k_c b_1 (h_1 - S) = 0,73,5 + 0,693 \cdot 73(34 - 5) = 1832 \text{ мм}^2; \quad (2.53)$$

Коефіцієнт підпорі у цьому калібрі:

$$K_c = 0,78 - 0,055 \sqrt{\frac{b_1}{h_1 - S}} = 0,78 - 0,055 \sqrt{\frac{73}{34 - 5}} = 0,693. \quad (2.54)$$

Середня висота четвертого калібру:

$$h_{1c} = \frac{F}{b_1} = \frac{1832}{73} = 25 \text{ мм}. \quad (2.55)$$

Середній радіус четвертого калібру:

$$R_c = 0,5(D_0 - h_{1c}) = 0,5(380 - 34) = 173 \text{ мм}. \quad (2.56)$$

Контактна поверхня у осередку деформації в калібрі четвертому:

$$F_k = 0,54(b_0 + b_1) \sqrt{R b \Delta h} = 0,54(57 + 73) \sqrt{173 \cdot 23} = 4428 \text{ мм}^2; \quad (2.57)$$

Абсолютне обтиснення в четвертому калібрі складає:

$$\Delta h = h_0 - h_1 = 57 - 34 = 23 \text{ мм}. \quad (2.58)$$

Середня величина абсолютного обтиснення в четвертому овальному калібрі складає:

$$\Delta h_c = \frac{1}{R} \left( \frac{F_k}{b_c} \right)^2 = \frac{1}{177,5} \left( \frac{4428}{65} \right)^2 = 26 \text{ мм}; \quad (2.60)$$

Середня ширина калібру четвертої прокатної кліті:

$$b_c = \frac{b_0 + b_1}{2} = \frac{57 + 73}{2} = 65 \text{ мм}. \quad (2.61)$$

Аналогічні розрахунки робимо на усі овальні калібри.

Дані розрахунку заносимо у таблицю 2.2

З таблиці 2.2 видно, що зусилля та момент прокатування спочатку збільшується при переході з чорнових до проміжних калібрів, далі при переході до чистових калібрів зменшується.

Це пояснюється тим, що проміжні калібри мають більш складну овальну форму або форму ребрового овалу, де відбувається складніше процес деформація ніж у ящиковому калібрі, здійснюються у цих калібрах достатньо великі обтиснення. Через це і збільшується зусилля прокатування, що веде за собою і збільшення моменту деформації.

При переході з проміжних до чистових калібрів відбувається зменшення величини обтиснення, що веде за собою зменшення зусилля прокатування та зниження моменту деформації.



	ий овал	33,5	30	3,5	33,5	32	1060	35	15,84	0,799	1,305	1,059	100	0,250	1,36	350	077	7,8
8	Овал	19	40	2,5	37,9	19,2	1060	25	36,60	0,774	1,230	1,193	100	0,29	1,34	100	126	2,02
9	Ребро- вий овал	26	24	2,8	25,8	26	1075	27	112,88	0,759	1,246	1,225	105	0,28	1,36	70	97	1,55
10	Овал	14,6	33	2	29,6	14,6	1060	26	71,07	0,745	1,238	1,350	110	0,26	1,33	78	118	1,18
11	Ребро- вий овал	20	18	2	20,0	20	1060	29	81,00	0,732	1,262	1,385	110	0,24	1,33	55	94	1,16
12	Овал	11,7	25	1,5	23,2	11,7	1060	24	126,8	0,718	1,222	1,757	135	0,210	11,3	65	114	0,94
13	Ребро- вий овал	16	14	2	16,0	13,3	1060	27	158,4	0,706	1,246	1,870	145	0,189	1,25	40	58	0,65
14	Овал	9,5	20	1,5	18,5	9,5	1060	23	237,6	0,693	1,213	2,110	160	0,165	1,24	45	69	0,5
15	Ребро- вий овал	13	12	2	13	10,8	1000	25	255,7	0,681	1,230	2,159	160	0,149	1,21	30	48	0,40
16	Овал	8,8	15	1,7	14	8,8	960	13	269,7	0,670	1,110	2,196	144	0,139	11,64	20	44	0,17
17	Коло	10	10	2	10	10	950	24	365,5	0,657	1,222	2,414	170	0,135	1 1,2	26	32	0,35

## ВИСНОВКИ

В роботі виконано аналіз процесів прокатування, що застосовується для отримання дрібносортових сталевих профілів, визначено, що для отримання дроту перевага гадається гарячому поздовжньому прокатуванню.

Проаналізовано роботу прокатного обладнання, виявлено його переваги та недоліки. З'ясовано, що для виготовлення дроту перевага надається безперервним дротовим прокатним станам. У якості обладнання було обрано прокатний стан ДС 250-1.

Для підвищення якості отриманого профілю, отримання дроту точних розмірів з мінімальними допусками та збільшення швидкості прокатування запропоновано використовувати чистові блочні прокатні кліті. Визначено механізми, що входять до складу цієї кліті та їх призначення. Виконано розрахунки їх основних параметрів, визначено принцип їх роботи.

Виконано розрахунок параметрів прокатування, розраховано режими обтиснення, що потрібно здійснити для отримання дроту, що має діаметр 10 мм з використанням чистового блоку. Розраховано витяжку за проходами та зміни розмірів калібрів. Визначено швидкість прокатування де видно, як вона збільшується від проходу до проходу. Виявлено кути захоплення, які забезпечують надійне обтиснення металу.

Визначено схему калібрувань де видно форму та розташування усіх калібрів. З'ясовано, що якісних виріб можна отримати, використовуючи у чистовому блоці систему «овал - ребровий овал». Визначено, що чистові калібри чергуються між собою.

Розраховано енергосилові параметри процесу прокатування, що потрібні для отримання дроту діаметром 10 мм, що дає можливість оцінити витрати енергії на процес.



## ЛІТЕРАТУРНІ ДЖЕРЕЛА

1. Производство проката на непрерывных мелкосортных станах 1, 2 и 3 СПЦ № 1. //Технологическая инструкция, ТИ 228-П1-01-2004, Кривой Рог, 2004. – 106 с.
2. Зотов В.Ф. Производство проката. [Электронный ресурс]: Классификация и типы прокатных станов. - © MarkMet 2005-2021 г. - [https://markmet.ru/tehnologiya\\_metallov/klassifikatsiya-i-tipy-prokatnykh-stanov](https://markmet.ru/tehnologiya_metallov/klassifikatsiya-i-tipy-prokatnykh-stanov).
3. Кудрин В.А. Теория и технология производства стали [Уч. для вузов] / В.А. Кудрин. – М.: «Мир», ООО «Издательство АСТ», 2003. – 528 с.
3. Кузьменко А.Г. Мелкосортные станы. Состояние, проблемы, перспективы. – М.:Металлургия, 1995. – 652с.
4. Математическое описание непрерывного стана горячей прокатки как объекта системы автоматического управления/ Ю.Г. Самборский, В.Г. Файнштейн // Вісник Криворізького національного університету – Випуск 37. – 2014. – с. 104-107.
5. Теорія процесів обробки металів тиском: Підручник / В.М. Данченко, В.О.Грінкевич, О.М. Головка – Дніпропетровськ: Пороги, 2008. – 370 с.
6. Конспект лекцій з дисципліни Технологія процесів ОМТ: Основи калібровки валків для студентів напряму 6.050401 — Металургія (Обробка металів тиском) всіх форм навчання / М.М. Штода – Дніпродзержинськ: ДДТУ, 2016 р. – 88 с.
7. Бережний М.М., Чубенко В.А. Основи проектування технологічних ліній і комплексів металургійних цехів: Монографія. – Кривий Ріг: Видавничий Дім, 2010. – 404 с.
8. Чубенко В.А., Хіноцька А.А. Технологія прокатного виробництва: Навчальний посібник – Кривий Ріг: Видавець ФОП Чернявський Д.О., 2017. – 170 с.

9. Калибровка прокатных валков: Учебное пособие для ВУЗов / Чекмарев А.П., Мутьев М.С., Машковцев Р.А. – М.: Metallurgy, 1971 г. – 512 с.
10. Технология прокатного производства: Учебник для ВУЗов / Грудев А.П., Машкин Л.Ф., Ханин М.И. – М.: Metallurgy, 1994 г. – 656 с.
11. Королёв А.А. Механическое оборудование прокатных станов/ Королёв А.А. – М.: Metallurgy, 1975 – 548 с.
12. Взаємодія технологічних параметрів в осередку деформації при сталому процесі прокатування/ М.М. Бережний, В.А. Чубенко, А.А. Хіноцька, А. Шепель, В. Чубенко //Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». Тематичний випуск: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2013 р. – № 43. – С. 36 – 41.
13. Час перебування металу в осередку деформації та утворення нової поверхні/ М.М. Бережний, Чубенко В.А., Хіноцька А.А., Глінкін А.// Вісник Криворізького технічного університету– Випуск 30. – 2012. – с. 171– 174.
14. Енергетичний баланс та реологічні властивості осередку деформації при прокатуванні штаби гладкими валками. Монографія / Бережний М.М., Чубенко В.А., Хіноцька А.А. – Кривий Ріг: Діоніс. – 2011. – 120 с.
15. Чубенко В. А., Хіноцька А. А. Технологія процесів обробки металів тиском: Навчальний посібник. – Кривий Ріг: Видавничий центр КНУ, 2020 р. – 206 с.
16. Грудев А.П., Машкин Л.Ф., Ханин М.И. Технология прокатного производства. – М.: Metallurgy, 1994. – 190– 652с.
17. Конструкция и основы расчета универсальных шаровых шпинделей нового типа для привода рабочих валков быстроходных прокатных станов/ Дынник А.А., Комаров А.К., Галицкий В.П. и др. Сб. Обработка металлов давлением. – М.: Metallurgy, 1967. –236 с.
- 18 . Целиков А.и., Смирнов В.В., Прокатные станы. – М.: Metallurgizdat, 1958. – 432с.

19. Королев А.А. Конструкция и расчет машин и механизмов прокатных станов . – М.: Металлургия, 1985. – 376с.

20. Проектирование прокатных цехов. /Додян В.М., Зинченко А.С., Каплан С.Е. и др.– К.: Вища шклоа,1985. –319с.