

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**

**Тема роботи: «АНАЛІЗ ТА РОЗРОБКА ПРОЦЕСУ ПРОКАТКИ  
РОЗДІЛЕННЯ СТАЛЕВОЇ АРМАТУРИ № 10»**

Виконав:  
студент групи МТ-22-2 \_\_\_\_\_ Микита РУДЕНКО

Керівник випускної роботи \_\_\_\_\_ Вікторія ЧУБЕНКО

Нормоконтролер \_\_\_\_\_ Вікторія ЧУБЕНКО

Т.в.о. завідувача кафедри \_\_\_\_\_ Дмитро БАБОШКО

Кривий Ріг  
2026 р.

## КРИВОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет: гірничо-металургійнийКафедра металургії чорних металів і ливарного виробництваОсвітньо-кваліфікаційний рівень: бакалаврСпеціальність: 136 Металургія

Затверджую

Зав. кафедрою \_\_\_\_\_

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2026 р.

## ЗАВДАННЯ

на випускню атестаційну роботу бакалавра

Руденко Микита Миколайович1. **Тема роботи:** Аналіз та розробка процесу прокатки розділення сталеві арматури № 10**керівник роботи:** к.т.н., доцент Чубенко Вікторія Анатоліївназатверджено наказом по КНУ від « 19 » 02 2026 р. № 113с2. **Строк подання роботи студентом** « 01 » 06 2026 р.3. **Вихідні дані до роботи:** заготовка квадратним поперечним перерізом 80×80; довжина заготовки 11,4 м; швидкість прокатування – 15 м/с; марка сталі – низьковуглецева сталь 35ГС; хімічний склад та механічні властивості сталі; способи прокатування: параметри 1-го погонного метру арматури № 10.4. **Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)**

1. Аналіз літературних джерел та постановка завдання дослідження: загальна характеристика та призначення арматури; матеріал для виготовлення арматури; способи виготовлення; багаторвчачова прокатка-розділення; постановка завдань досліджень.

2. Розробка удосконаленої технології виготовлення арматури № 10: технологічний операції; термічна обробка; розрахунок калібрування арматурної сталі № 10; визначення енергосилових параметрів.

5. **Перелік графічного матеріалу**

Характеристика та призначення арматури. Профіль арматури № 10. Багаторівчачова прокатка-розділення. Калібри для отримання вірного профілю арматури. Калібрування чорнової групи клітей. Чистова група клітей. Енергосилові параметри.

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Номер етапу	Назва етапів виконання бакалаврської роботи	Термін виконання етапів
1	Збір і обробка необхідного матеріалу для виконання кваліфікаційної роботи	19.01-27.01.2026
2	Аналіз літературних джерел та постановка завдання дослідження	28.01-08.02.2026
3	Загальна характеристика та призначення арматури; матеріал для виготовлення арматури	09.02-25.02.2026
4	Способи виготовлення арматури; багаторівчачова прокатка-розділення	26.02-10.03.2026
5	Розробка удосконаленої технології виготовлення арматури № 10: технологічні операції; термічна обробка	11.03-10.04.2026
6	Розрахунок калібрування арматурної сталі № 10	11.04-30.04.2026
7	Розрахунок енергосилових параметрів прокатування	01.05-20.05.2026
8	Оформлення роботи та креслення	21.05-31.05.2026
9	Перевірка роботи на плагіат	01.06-15.06.2026
10	Захист кваліфікаційної роботи	24.06.2026

Дата видачі завдання «\_\_19\_\_» \_\_\_\_\_ 02 \_\_\_\_\_ 2026 р.

Здобувач вищої освіти \_\_\_\_\_ Микита РУДЕНКО  
(підпис)

Керівник випускної кваліфікаційної роботи \_\_\_\_\_ Вікторія ЧУБЕНКО  
(підпис)

## РЕФЕРАТ

до випускної кваліфікаційної роботи на тему «**Аналіз та розробка процесу прокатки розділення сталеві арматури № 10**»

Обсяг роботи: пояснювальна записка 53 стор., 5 табл., 10 рис, 19 використаних джерел.

Мета роботи: розробити технологію прокатки-розділення для виготовлення арматури № 10.

Об'єкт дослідження: технологія прокатного виробництва.

Предмет дослідження: режими обтиснення при розділовій прокатці арматурного профілю № 10.

Методи дослідження: базуються на теоретичних дослідженнях пластичної деформації при прокатуванні сталевих виробів, теорії пластичного плину матеріалу, на розрахункових методах калібрування прокатних валків та визначення енергосилових параметрів, на експериментальних дослідженнях стійкості смуги в прокатних калібрах.

Результати роботи: проаналізовано способи виготовлення арматури і віддано перевагу гарячій прокатці-розділення на безперервному дрібносортовому стані ДС-250. Визначено калібрування прокатних валків, що забезпечить отримання якісної арматурної смуги № 10 за мінімальну кількість проходів. Визначено силу та момент прокатування, що дозволяє оцінити енерговитрати на процес.

**АРМАТУРА № 10, ПРОКАТУВАННЯ, КАЛІБРУВАННЯ, РЕЖИМИ ОБТИСНЕННЯ, ЕНЕРГОСИЛОВІ ПАРАМЕТРИ**

					КНУ.РБ.136.26.113с-09.Р			
Вим.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата				
Розробив	Руденко				РЕФЕРАТ	Літ.	Аркуш	Аркушів
Перевірив	Чубенко						1	1
Рецензент						Кафедра МЧМЛВ гр. МТ-22-2		
Н. контр.	Чубенко							
Затвердив	Бабошко							

## ВІДОМІСТЬ МАТЕРІАЛІВ

№ строки	Формат	Обозначение	Наименование	Кол. листов	№ экз.	Примечание	
							1
1							
2	A4	КНУ.РБ.136.26.113с/2-09.ПЗ	Пояснювальна записка	53			
3							
4			Графічна частина				
5			(Презентація)				
6	A4	КНУ.РБ.136.26.113с/2-09.01	Характеристика та призначення				
7			арматури	1			
8	A4	КНУ.РБ.136.26.113с/2-09.02	Профіль арматури №10	1			
9	A4	КНУ.РБ.136.26.113с/2-09.03	Багаторівчача прокатка-				
10			розділення	1			
11	A4	КНУ.РБ.136.26.113с/2-09.04	Калібри для отримання вірного				
12			профілю арматури	1			
13	A4	КНУ.РБ.136.26.113с/2-09.05	Калібрування чорнової				
14			групи клітей	1			
15	A4	КНУ.РБ.136.26.113с/2-09.06	Чистова група клітей	1			
16	A4	КНУ.РБ.136.26.113с/2-09.07	Енергосилові параметри	1			
17							
18							
19							
20							
21							
22							
23							
24							
КНУ.РБ.136.26.113с-09.В0							
Изм. / лист		№ докум.	Подп.	Дата			
Разраб.		Руденко					
Проб.		Чуденко					
Н.контр.		Чуденко					
Утв.		Бабошко					
Відомість об'єму матеріалів кваліфікаційної роботи					Лист	Лист	Листов
					р   δ	1	1
					кафедра МЧМ/В група МТ-22-2		
Копіював					Формат А4		

## ЗМІСТ

	Стор.
РЕФЕРАТ.....	4
ВІДОМІСТЬ МАТЕРІАЛІВ.....	5
ВСТУП.....	7
1 АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ ТА ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ .....	9
1.1 Загальна характеристика та призначення арматури.....	9
1.2 Матеріал для виготовлення арматури № 10.....	12
1.3 Способи виготовлення арматури.....	13
1.4 Багаторівчакова прокатка-розділення.....	17
1.5 Постанова завдань досліджень.....	22
2 РОЗРОБКА УДОСКОНАЛЕНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ АРМАТУРИ № 10.....	23
2.1 Технологічні операції для отримання арматури № 10.....	23
2.2 Термічна обробка арматури.....	25
2.3 Розрахунок калібрування арматурної сталі №10.....	26
2.4 Визначення енергосилових параметрів.....	45
ВИСНОВКИ.....	51
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	52

					КНУ.РБ.136.26.113с-09.Р					
Вим.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата	ЗМІСТ					
Розробив	Руденко							Літ.	Аркуш	Аркушів
Перевірив	Чубенко								1	1
Рецензент								Кафедра МЧМЛВ гр. МТ-22-2		
Н. контр.	Чубенко									
Затвердив	Бабошко									

## ВСТУП

Арматура № 10 – це дуже потрібна продукція, яку широко використовують в народному господарстві. Особлива уваги їй приділяється в будівництві. Така арматура призначена для армування конструкцій, створення різних каркасів, використовують в якості закладних елементів, вона знайшла своє розповсюдження для дрібного армування та як сполучний елемент. Вона призначена сприймати розтягуючі напруження для підвищення міцності фундаментів, плит, колон тощо. Тому дуже важливо знайти рішення удосконалити технологію її виготовлення з метою збільшення обсягу виробництва арматури та збільшення продуктивності процесу.

Арматуру № 10 звичайно виготовляють гарячим прокатуванням в каліброваних прокатних валках, що дозволяє отримати профіль точної форми та розмірів. Для високої продуктивності процесу використовують безперервні багатоклітові прокатні стани, що дозволяють отримати якісну продукцію.

Використовуючи прокатку розділення при виготовленні арматури є можливість збільшити обсяг виробництва арматури № 10 та підвищити продуктивність прокатного обладнання.

Мета випускної роботи: розробити технологію прокатки розділення для отримання арматури № 10.

Для досягнення мети потрібно виконати наступні задачі:

- проаналізувати способи отримання арматури та визначити раціональний;
- запропонувати матеріал для виготовлення арматури № 10;
- намітити послідовність операцій, що використовують для виготовлення арматури прокаткою розділенням в гарячому стані;

					КНУ.РБ.136.26.113с-09.ВС					
Вим.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата	ВСТУП					
Розробив	Руденко							Літ.	Аркуш	Аркушів
Перевірив	Чубенко								1	2
Рецензент								Кафедра МЧМЛВ гр. МТ-22-2		
Н. контр.	Чубенко									
Затвердив	Бабошко									

- визначити обладнання для прокатування арматури № 10;
- розрахувати калібрування прокатних валків, що забезпечують отримання точних розмірів та форми арматури № 10 за мінімальну кількість проходів;
- розрахувати енергосилові параметри процесу.

					КНУ.РБ.136.26.113с-09.ВС	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		2

# 1 АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ ТА ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ

## 1.1 Загальна характеристика та призначення арматури

Арматура уявляє собою металеві стрижні, прутки або канати, що використовують для зміцнення будівельних конструкцій, особливо конструкцій з залізобетону, а також різних допоміжних механізмів та приладів (рис. 1.1).



Рисунок 1.1 – Загальний вигляд арматури

Головне призначення арматури це сприймати розтягуючі навантаження в будівельних конструкціях, компенсувати слабкість бетонних виробів з метою забезпечення їх високої міцності, та стійкості.

					КНУ.РБ.136.26.113с-09.01.АЛДПЗД			
Вим.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата	АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ ТА ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ	Літ.	Аркуш	Аркушів
Розробив	Руденко						1.1	14
Перевірив	Чубенко					Кафедра МЧМЛВ гр. МТ-22-2		
Рецензент								
Н. контр.	Чубенко							
Затвердив	Бабошко							

Усю арматуру поділяють на два види: будівельну та трубопровідну.

Будівельна арматура використовується, як правило для бетонних конструкцій і поділяється на робочу, розподільну, монтажну.

До робочої арматури відносять: сталеві прутки, які сприймають основні навантаження. Робоча арматура буває у двох видів: гладка та періодичного профілю. Періодичний профіль має рифлену поверхню, що сприяє кращому зчепленню матеріалів (рис. 1.2).

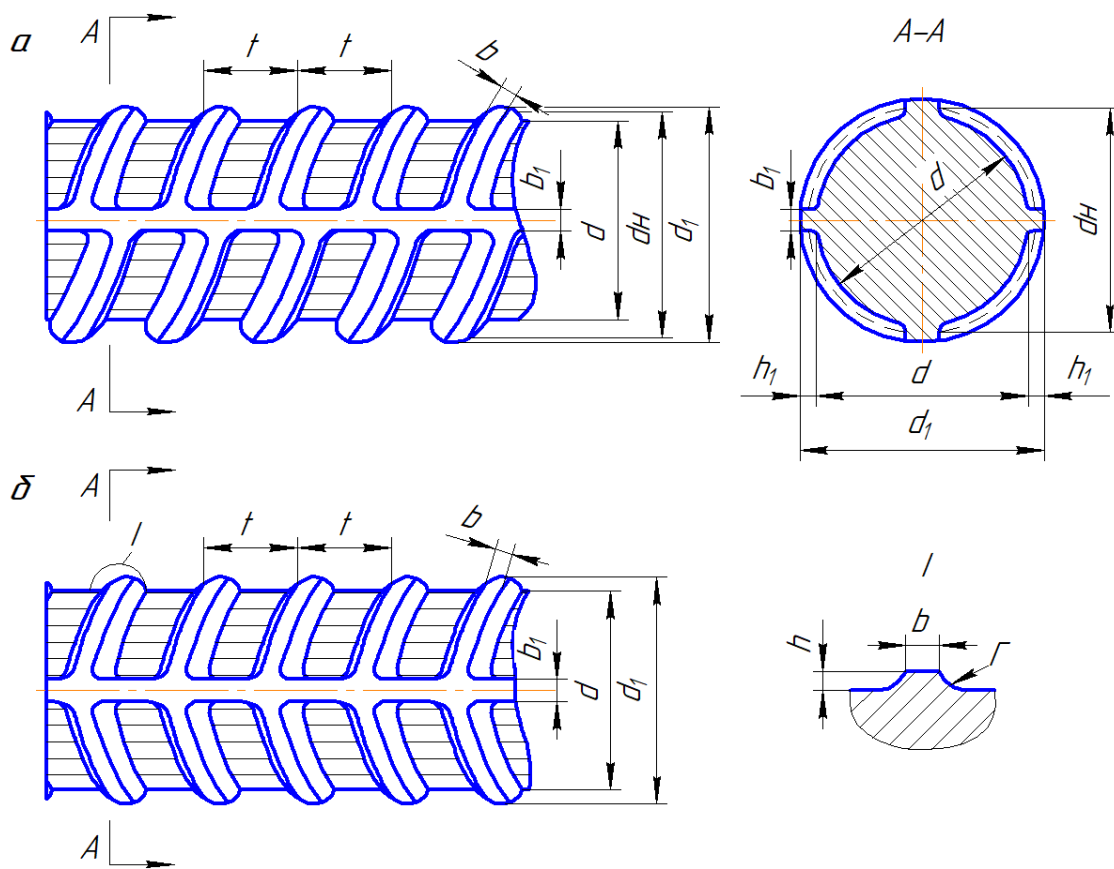


Рисунок 1.2 – Арматурний профіль:  $h$  – висота спіралі;  $h_1$  – висота ребра;  $b$  – ширина спіралі арматури;  $b_1$  – ширина ребра арматури;  $d$  – внутрішній діаметр профілю;  $d_1$  – зовнішній діаметр;  $r$  – закруглення ребер арматурного профілю;  $t$  – відстань між гвинтовими лініями

З рисунку 1.2 видно конфігурацію арматурного профілю та позначено усі його розміри, які залежать від номеру арматури.

					КНУ.РБ.136.26.113с-09.01.АЛДПЗД	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		1.2

Така арматура має наступні розміри:

Вага 1-го погонного метру арматури № 10 дорівнює 0,62 кг; номінальний діаметр  $d_n=10$  мм; зовнішній діаметр  $d_l=11,5$  мм; внутрішній діаметр  $d=9,3$  мм; висота спіралі складає  $h=3,2$  мм; ширина спіралі дорівнює  $b=1,0$  мм; висота ребра арматури  $h_l=0,8$  мм; ширина ребра дорівнює  $b_l=1,0$  мм; відстань між гвинтовими лініями арматури складає  $t=6,0$  мм. Кут нахилу бічної поверхні  $45^\circ$ . Кут нахилу поперечних ребер  $60^\circ$ . Площа поперечного перерізу буде дорівнювати  $78,5$  мм<sup>2</sup>. Допустиме відхилення від маси 1 м профілю складає  $\pm 5\%$ . Допустима овальність не більше 1,0 м. Довжина арматурного профілю дорівнює 12 м.

Розподільна арматура використовується для утримання робочої арматури у потрібному положенні.

Монтажна арматура служить для з'єднання різних елементів каркасу.

Зв'язують робочу арматуру в цілісний каркас за допомогою хомутів, які запобігають розтріскуванню бетону.

Трубопровідна арматура класифікується на запірну, регульовану та запобіжну. В якості цієї арматури використовують клапани, засувки, крани для перекриття та регулювання потоки води, газу, пари тощо, що рухається по трубопроводу.

Арматуру використовують для армування конструкцій; створення каркасів; використовують в якості закладних елементів, застосовують для дрібного армування та як сполучний елемент.

Основна роль арматури при армуванні конструкцій – це сприйняття розтягуючих напружень для підвищення міцності таких елементів як фундамент, плити, балки, колони, стіни.

При використанні арматури для створення каркасів відбувається формування плоских та об'ємних каркасів для залізобетонних виробів та конструкцій.

Арматура в якості закладного елемента використовується для створення виробів, які фіксують різні елементи в бетоні.

					КНУ.РБ.136.26.113с-09.01.АЛДПЗД	Аркуш
						1.3
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Дрібне армування відбувається при армуванні бетонних доріг, стяжок. Також таке армування використовують при виробництві різних декоративних елементів.

В якості сполучного елемента арматуру використовують для зв'язування основних робочих стрижнів, що розташовуються в каркасі для забезпечення її вірного положення.

## 1.2 Матеріал для виготовлення арматури № 10

Сортовий прокат, до яких відноситься арматура № 10, роблять із вуглецевих (звичайної якості, конструкційних, якісної) і низьколегованих марок стали всіх ступенів розкислення.

Арматуру № 10 будемо відносити до класу А400С. Цей клас відноситься до будівельної арматури, що використовується для залізобетонних конструкцій. Така арматура дуже популярна при армуванні фундаментів, колон, балок, стін тощо. Використовується для посилення фундаментів, стін та стель при спорудженні мостів, при будівництві житлових будинків та промислових споруд. Така арматура забезпечує міцне зчеплення з бетоном завдяки рифленому профілю.

Число 400 вказує на межу границі плинності, що дорівнює 400 Н/мм<sup>2</sup>, індекс С, що входить в маркування показує, що ця арматура добре зварюється.

Виготовляють таку арматуру гарячим прокатуванням з подальшою термічною обробкою, яка забезпечує підвищення пластичності та добру зварюємось.

Характеристики такої арматури представлено в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Характеристики арматури класу А400С

Подовження під час розриву	14 %
Матеріал	Ст3, 35ГС
Стандарт	ДСТУ 3760-98

Така арматура має свої переваги, до яких відносять:

- висока міцність та надійність;
- відмінна адгезія, зчеплення з бетоном;
- можливість зварювання спрощує її монтаж;
- має підвищену стійкість при дії в агресивних середовищах, що подовжує термін дії конструкцій;
- широко використовується у будівельних проектах.

В якості матеріалу для арматури № 10 класу А 400С добре підходять низьковуглецеві та низьколеговані конструкційні матеріали. Для отримання арматури будемо використовувати низьколеговану сталь марки 35ГС. Ця сталь відноситься до низьколегованої конструкційної сталі, яка має вміст вуглецю 0,35 %, легована магнієм та кремнієм. така кількість вуглецю забезпечує високу міцність і пластичність та здатність до зварення. Пропонуєма сталь в цілому характеризується досить високою міцністю, добрими службовими властивостями та високою холодостійкістю.

Хімічний склад цього матеріалу наведено у таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 – Хімічний склад конструкційної сталі 35ГС, %

C	Mn	Si	Ni	S	P	Cr	Cu	Fe
0,35- 0,37	0,8- 1,2	0,6- 0,9	≤ 0,03	≤ 0,04	≤ 0,04	≤ 0,03	≤0,03	96

З таблиці 1.2. видно склад усіх елементів, що надходять до пропонуємої сталі.

### 1.3 Способи виготовлення арматури

Арматурний профіль виготовляють за допомогою гарячого прокатування.

Прокатування – це процес обробки металів тиском, де оброблюваний матеріал обтискується під дією прокатних валків, які обертаються. Смуга втягується в щілину між прокатними валками, що має назву зазору, завдяки

					КНУ.РБ.136.26.113с-09.01.АЛДПЗД	Аркуш
						1.5
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

силам тертя. Завдяки здатності металевих матеріалів до пластичної деформації, смуга змінює свою форму та розміри. В процесі деформації між прокатними валками матеріал отримує витяжку, в результаті чого зменшується його площа поперечного перерізу від повідано до коефіцієнту витяжки. При цьому, завдяки витяжки суттєво збільшується довжина розкату, не суттєво збільшується його ширина та зменшується висота.

Прокатуванням одержують безліч видів продукції. Але усю цю продукцію класифікують на чотири групи:

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

Арматура № 10 відноситься до сортових профілів.

Увесь сортовий прокат поділяється на: крупносортовий, середньосортовий, дрібносортовий прокат. Арматура № 10 відноситься до дрібносортового прокату.

Процеси прокатування класифікують за декількома ознаками:

- за напрямком руху інструменту та матеріалу;
- за температурою прокатування;
- за впливом зовнішніх чинників;
- за симетричністю процесів.

За напрямком руху інструменту та матеріалу процеси прокатування класифікують на: поздовжнє, поперечне і поперечно-гвинтове.

Поздовжнє прокатування засноване на тому, що прокатні валки мають обертальних рух і обертаються один на зустріч іншому, а оброблюваний матеріал, при цьому, рухається поступово. Використовується в більшості випадків обробки – для отримання сортових профілів, листових, спеціальних, деякі випадки трубних профілів.

					КНУ.РБ.136.26.113с-09.01.АЛДПЗД	Аркуш
						1.6
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Поперечне прокатування засноване на тому, що прокатні валки обертаються в один і той же бік, а оброблюваний матеріал знаходиться між ними і обертається в інший бік. Такий вид обробки використовується при прокатуванні тіл обертання: валів, шестерен, втулок тощо.

Поперечно гвинтове прокатування засновано на тому, що осі прокатних валків знаходяться під деяким кутом один до іншого. Смуга між ними здійснює як поступальний, так і обертальний рух. Такий спосіб прокатування використовується для прошивання отвору в суцільному матеріалі.

Для отримання арматури № 10 будемо використовувати поздовжнє прокатування, що забезпечить отримання вірного профілю.

За температурою прокатування процеси класифікують на гаряче прокатування, де оброблюваний матеріал нагрівають перед обробкою, і на холодне прокатування, яке здійснюється при кімнатній температурі. Холодне прокатування широко використовують для отримання тонких листів з гарячекатаних листів та смуг, при деформації м'яких матеріалів та при обробці дрібних профілів при невеликих обтисненнях.

Для отримання арматури № 10 будемо використовувати гаряче прокатування.

Процес прокатування буде відбуватися в прокатних валках однакового діаметру, що є симетричним процесом.

Для здійснення процесу прокатування використовують обладнання. Таке обладнання має назву прокатного стану.

Прокатний стан – це комплекс машин та механізмів, що забезпечують отримання виробів точної форми та розмірів пластичною деформацією.

До складу прокатного стану входить основне та допоміжне обладнання. Основне обладнання – це ті механізми, що забезпечують пластичну деформацію матеріалу, тобто зміну його форми та розмірів. До такого устаткування відносять робочу кліть, в склад якої входить прокатні валки, що встановлюють в підшипники, подушки, які їх підтримують, механізми регулювання положення

					КНУ.РБ.136.26.113с-09.01.АЛДПЗД	Аркуш
						1.7
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

прокатних валків та натискні механізми, станина. Також до основного обладнання входять електричний двигун, шестеренна кліть та передаточні механізми.

Допоміжне обладнання – це те обладнання, яке не виконує пластичну деформацію матеріалу, але забезпечує виконання технологічного процесу.

Усе допоміжне обладнання поділяється на обробне та транспортує.

До обробного обладнання відносяться ножиці для гарячого, холодного розрізання, аварійного та розрізання на мірні довжини, правильні машини та механізми, клеймуюче устаткування.

Транспортує обладнання служить для переміщення матеріалу впродовж та впоперек цеху та за його межі.

До такого обладнання відносять візки, рольганги, шлепери, електричні мостові крани тощо.

Прокатне обладнання класифікують за декількома ознаками:

- за призначенням;
- за кількістю прокатних валків у робочій кліті;
- за кількістю робочих клітей на головній лінії прокатного стану;
- за принципом дії.

За призначенням прокатні стани класифікують в залежності від виду продукції: сортові прокатні стани, листові прокатні стани, трубокатні агрегати, спеціальні прокатні стани.

Для кількістю робочих валків у прокатній кліті прокатні стани бувають двовалкові, тривалкові, чотири валкові, шести валкові, дванадцяти валкові.

Для отримання дрібносортового прокату рекомендується використовувати двовалкові прокатні стани, що будемо використовувати для отримання дрібносортового профілю № 10.

За принципом дії прокатні стани класифікують на безперервні, реверсивні, напівбезперервні. Безперервні прокатні стани вважаються самими високопродуктивними і найсучасними, мають умову безперервності – постійність секундних об'ємів.

					КНУ.РБ.136.26.113с-09.01.АЛДПЗД	Аркуш
						1.8
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Реверсивні прокатні стани мають прямий і зворотній рух. За рахунок цього їх швидкість і, відповідно, продуктивність уповільнюються.

Напівбезперервні мають в своєму складі як реверсивну групу клітей, так і безперервну.

Для отримання арматури № 10 надаємо перевагу безперервному прокатному стану.

За кількість робочих клітей прокатні стани класифікують на одноклітьові, двоклітьові та багатоклітьові.

Безперервні прокатні стани – це багатоклітьове обладнання.

Для отримання арматури № 10 обрано безперервний дрібносортовий прокатний стан ДС-250.

#### **1.4 Багаторівчакова прокатка-розділення**

В роботі пропонується арматуру № 10 виготовляти прокаткою-розділенням. Така обробка зосереджена на формуванні з розкату профілів, що з'єднані тонкою перемичкою в калібрах, які мають два та більше рядів розташованих рівчака та їх наступне розділення в потоці прокатного стану. Відокремлені профілі в подальшому прокатують з метою отримання потрібної форми та розмірів поперечного перерізу.

Прокатка розділення дозволяє підвищити продуктивність процесу виготовлення металовиробів, зменшити витрати енергії на прокатування, і відповідно, собівартість продукції. Порівняльна схема звичайного прокатування і прокатки – розділення наведена на рисунку 1.3.

На сучасному етапі використовують два способи прокатки-розділення в потоці прокатного стану:

- прокатними валками, які мають спеціальний профіль;
- додатковими розділяючими устаткуваннями;

Кожен з цих способів має свої переваги та недоліки.

					КНУ.РБ.136.26.113с-09.01.АЛДПЗД	Аркуш
						1.9
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

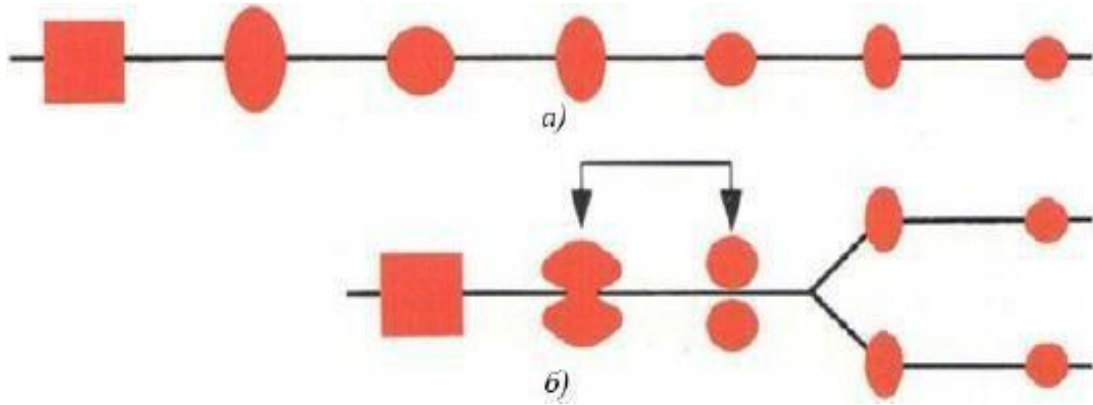


Рисунок 1.3 – Порівняльна схема прокатування: *a* – звичайне прокатування; *б* – прокатка-розділення

За першим способом використовують спеціальне калібрування прокатних валків, що забезпечує послідовне підготування розкату до розділення, само розділення спеціальним профілем прокатних валків і подальше прокатування розділених розкатів з метою отримання точної форми та розмірів профілю. Для забезпечення такого процесу потрібна відповідне калібрування прокатних валків.

За другим способом процес розділення розкату відбувається у міжклітьовому просторі. Для цього на виході з підготовчого прокатного валка встановлюють розділяюче устаткування, що має спеціальні конічні ролики, які здатні розділювати розкат на декілька частин. Таким чином отримують два, три, чотири розкати, які в подальшому оброблюються з метою надання їм потрібної форми та розмірів.

Цей спосіб розділення має назву «слітінг-процесу», який проходить послідовно наступні операції:

- 1) підготування розкату до розділення у вигляді подвоєного кола;
- 2) процес розділення підготовленого розкату додатковим устаткуванням.

					КНУ.РБ.136.26.113с-09.01.АЛДПЗД	Аркуш
						1.10
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Прокатка розділення за другим способом має ряд недоліків:

- потрібне додаткове устаткування точно вистроїти в лінії прокатного стану, що потребує додаткові витрати;
- потрібно підготувати тонку перемичку в зоні розриву розкату, що збільшує зношення прокатних валків;
- утворюється шийка розриву, що може призвести до закату поверхневого шару;
- невеликий термін служби розривних роликів;
- низька стійкість розкату при розділенні;
- складність регулювання розділяючих пристроїв.

Перераховані недоліки ускладнюють процес прокатки розділення.

Для виготовлення арматури № 10 будемо використовувати перший спосіб, де потрібно спеціальне калібрування прокатних валків. Такий спосіб дозволить з однієї вихідної заготовки отримати два профіля в чорнових проходах. В чистових проходах ці два профілі будуть прокатуватися кожен окремо.

Для отримання металовиробів за цим способом існує дві схеми калібрування:

- з діагональним розташуванням калібру (рис. 1.4);
- з шаховим розташуванням калібру (рис. 1.5).

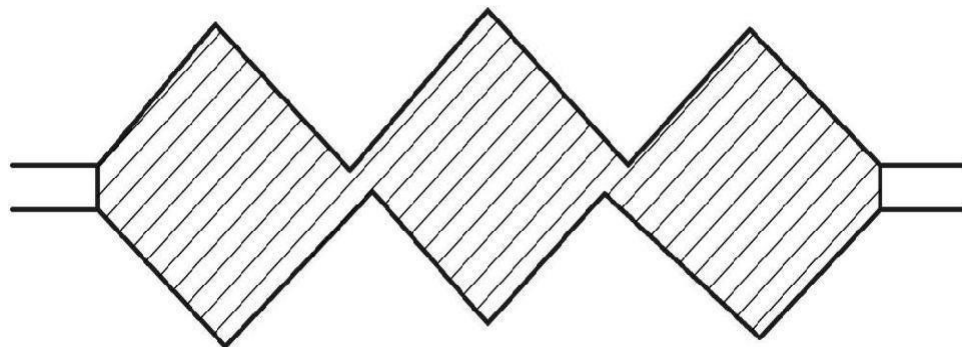


Рисунок 1.4 – Схема калібрування з діагональним розташуванням калібрів

					КНУ.РБ.136.26.113с-09.01.АЛДПЗД	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		1.11

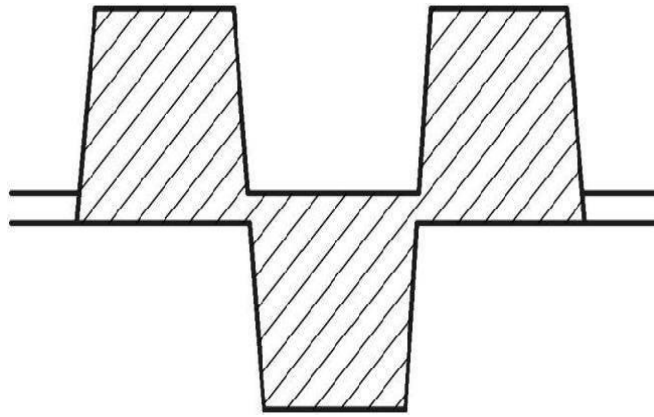


Рисунок 1.5 – Схема розташування шахових калібрів

При прокатуванні у діагональних калібрах утворюється тонка перемичка, де і відбувається переважне обтиснення. Це явище покращує якість металу в зоні розділення.

При прокатуванні у шахових калібрах відбувається одночасно з висотною деформацією і деформація зсуву. При цьому розкати, що розташовані у крайніх калібрах можуть приймати невизначену форму, що зменшує його якість. При прокатуванні може відбуватися повертання матеріалу, що також знижує його якість.

Високу якість поверхні розкату в місті розділення забезпечують способи поздовжнього розділення шляхом утворення в зоні розділення напруження зсуву. За таким способом у багатонитковому розкаті формують тонкі «фіктивні» розділяючі перемички по одній з його граней (рис. 1.6). Для забезпечення зрізання таких перемичок, розкати повертають навколо поздовжній осей, як показано на рисунку 1.7, або взаємно зміщують, як наведено на рисунку 1.8.

Перемичку називають «фіктивною» через те, що вона має не велику висоту  $h$  і, практично, не має ширини  $\Delta$  (рис. 1.6).

					КНУ.РБ.136.26.113с-09.01.АЛДПЗД	Аркуш
						1.12
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

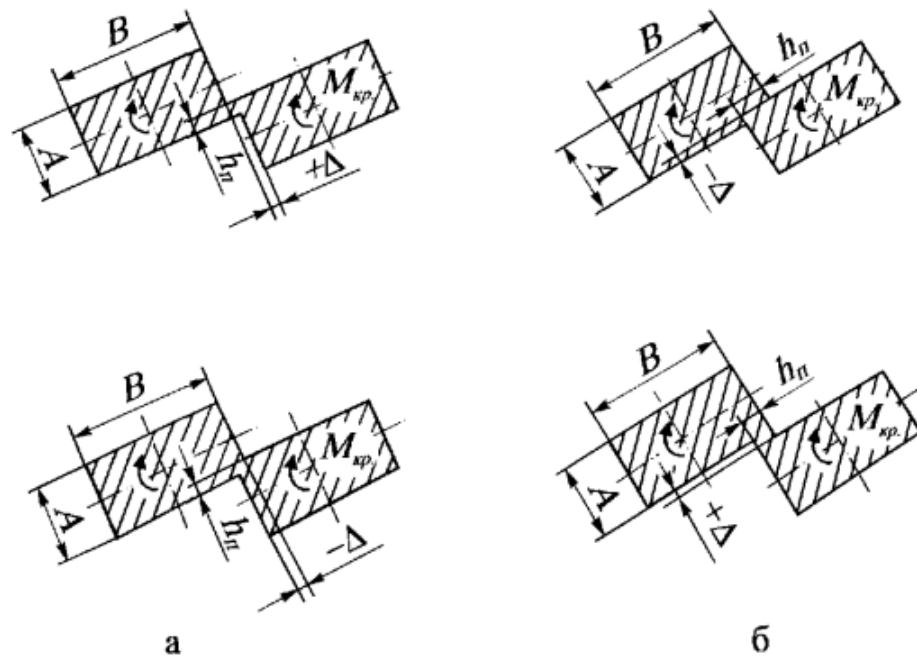


Рисунок 1.6 – Варіанти розміщення «фіктивних» перемичок у двонитковому розкаті: *а* – по вузьким граням; *б* – по широким граням

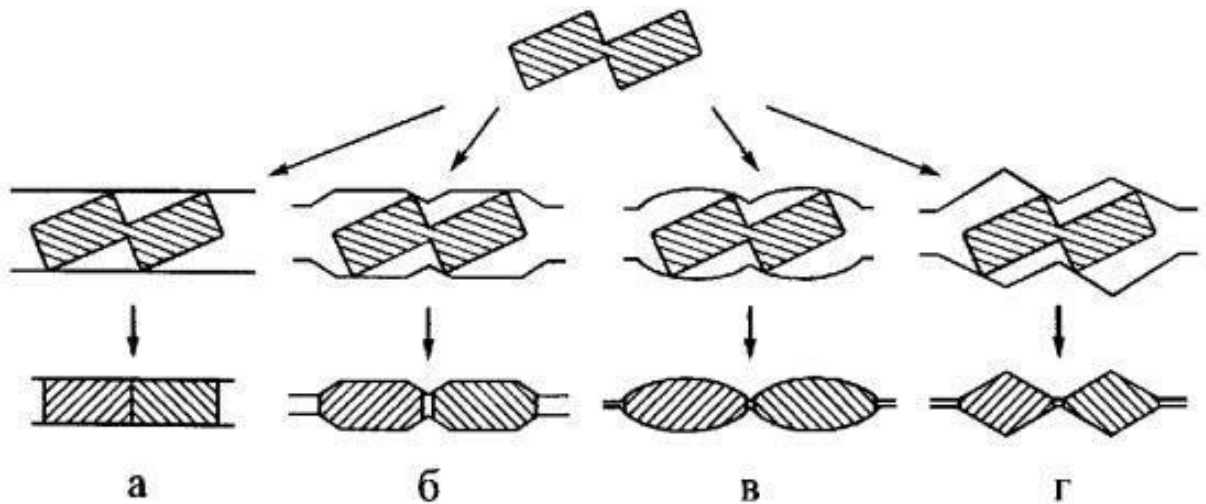


Рисунок 1.7 – Розділення двониткового розкату поворотанням оброблюваного матеріалу навколо осей при прокатуванні:  
*а* – у гладких прокатних валках; *б* – у дворівняковому калібрі шестикутної форми; *в* – в дворівняковому калібрі овальної форми;  
*г* – у дворівняковому калібрі ромбічної форми

Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

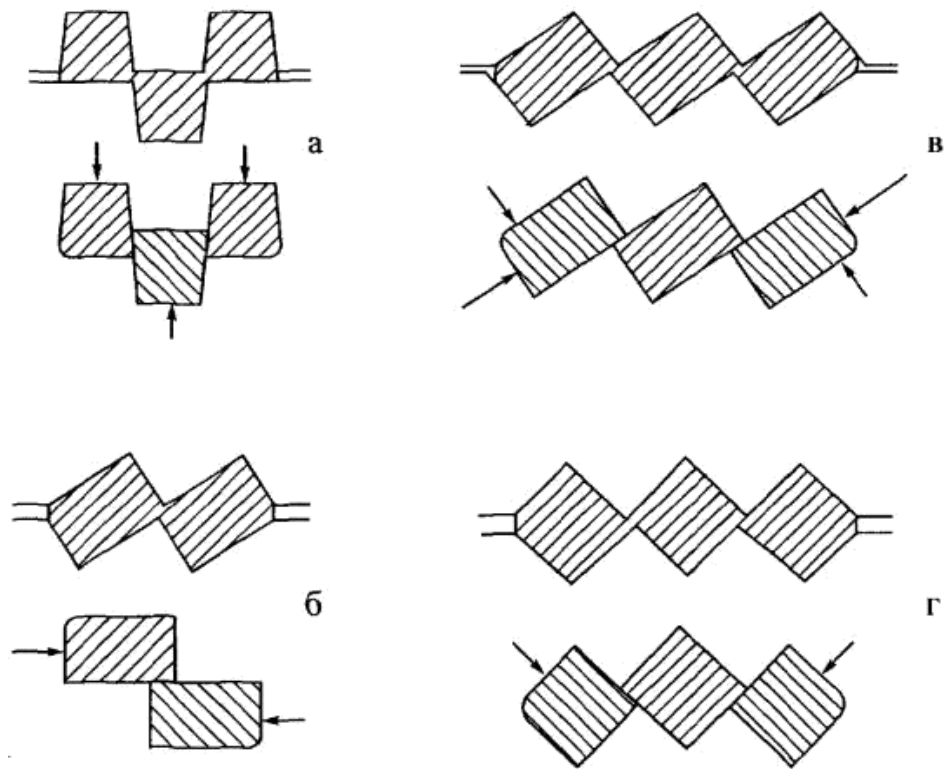


Рисунок 1.8 – Варіанти розділення багатониткового розкату взаємним зміщенням профілів упродовж граней: *а* – у шаховому калібрі; *б* – у дворівняковому калібрі; *в, г* – у трирівняковому калібрі

### 1.5 Постановка завдань досліджень

Для того, щоб виготовляти арматуру № 10 прокаткою розділенням потрібно визначити:

- технологічні операції, що застосовують для отримання арматури № 10;
- розрахувати калібрування прокатних валків;
- визначити енергосилові параметри процесу прокатування.

					КНУ.РБ.136.26.113с-09.01.АЛДПЗД	Аркуш
						1.14
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 2 РОЗРОБКА УДОСКОНАЛЕНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ АРМАТУРИ № 10

### 2.1 Технологічні операції для отримання арматури № 10

В якості вихідного матеріалу для отримання арматури № 10 можна використовувати заготовки, що отримані дискретною розливкою у звичайні виливниці, або безперервно-литі заготовки.

Безперервно-литі заготовки є більш сучасними та якісними за внутрішньою структурою. Тому обираємо в якості початкового матеріалу безперервно-литу заготовку, що отримано на радіальній машині безперервної розливки сталі.

Для отримання арматури № 10 обираємо заготовку, що має квадратний поперечний переріз розмірами 80×80. Довжина такої заготовки дорівнює 11,4 м. Такі розміри цілком задовольняють вимогам технологічних інструкцій ТІ 228-Б2-04-2000 і ТІ 228-Б2-04-2000.

Виконується підготування таких заготовок до прокатування, де відбувається огляд на наявність різних ушкоджень та подряпин. У разі їх наявності відбувається зачищення з метою видалення. Виконується контроль номінальних розмірів, кривизни, різновтовщинності.

Підготовлені заготовки поплавочно укладають працен-кранами на завантажувальні грати, з яких за допомогою передавальних пристроїв спрямовують на підводячий рольганг.

Усі заготовки укладають на прийомні грати рівномірно, без розривів у один шар таким чином, щоб затаврований торець був спрямований до робочої площадки. Розрив плавок при укладанні не дозволяється, за виключенням аварійних випадків.

					КНУ.РБ.136.26.113с-09.02.ПУТВА			
Вим.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата	РОЗРОБКА УДОСКОНАЛЕНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ АРМАТУРИ № 10	Літ.	Аркуш	Аркушів
Розробив	Руденко						2.1	28
Перевірив	Чубенко							
Рецензент								
Н. контр.	Чубенко							
Затвердив	Бабошко				Кафедра МЧМЛВ гр. МТ-22-2			

Відбраковані заготовки відкидають на переплавлення спеціальним скидувачем. Придатні заготовки транспортують до нагрівальної печі.

Нагрівання початкового матеріалу відбувається у методичній печі до визначеної температури, яка залежить від хімічного складу матеріалу, відповідно до режимів, що розроблено ЦТТЛ.

Вихідні заготовки в печі пересувають за допомогою штовхачів, а видають їх з печі за допомогою виштовхувачів.

Заготовки, які видано з печі, розподіляють на дві нитки за допомогою розподільного столу.

Відбувається прокатування матеріалів на прокатному обладнанні у гарячому стані. Розкат обтискується на чорновій групі клітей у дві нитки, та у чистовій групі клітей у одну нитку.

Кількість проходів на прокатному стані залежить від профілю, що обробляється, але максимально може дорівнювати 15-ти.

Між чорною та чистою групами прокатних клітей передбачено обрізання переднього кінцю розкату за довжиною, яка дорівнює від 50 до 150 мм. Для цього використовують летучі ножиці, що здатні розрізати матеріал на високій швидкості, а також можуть виконувати розрізання матеріалу в аварійних ситуаціях.

Перед правою чистою групою прокатних клітей встановлюють обривні ножиці, що призначені для автоматичного розрізання заднього кінцю розкату, який може застрягнути у чистових клітях прокатного стану, чим зменшується кількість путанки між прокатними клітями.

Після прокатування у чистових прокатних клітях, отримують готовий профіль вірного поперечного перерізу, який розрізають на двобарабанних летючих ножицях на мірні довжини, що відповідають довжині їх подачі до холодильнику.

Керування таких двобарабанних ножиць відбувається системою розкрою металу, що забезпечує розрізання на певну кількість різних за розмірами прутків та смуг в залежності від форми та розмірів поперечного перерізу.

					КНУ.РБ.136.26.113с-09.02.РУТВА	Аркуш
						2.2
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Після розрізання, отримані смуги переміщують до холодильника, де і відбувається їх охолодження. Після цього, отримані вироби збирають у відповідні пакети і спрямовують до ножиць холодного розрізання металу, де відбувається їх розрізання на мірні та не мірні довжини.

Далі готовий, розрізаний прокат від ножиць холодного розрізання транспортують до приймальних кишень-вагів за допомогою рольгангу.

В подальшому відбувається скидання готового прокату у кишень-ваги. Для цього використовують відповідні скидачі. Після цього прокат зв'язують і направляють на склад готової продукції, де і відбувається остаточне правлення у холодному стані, розрізанні, поштучне сортування, у разі необхідності ремонтування.

Отримані пачки готового прокату украдають у штабелі або відвантажують у залізничні вагони. Для цього використовують електричні мостові крани.

Обрізки, що утворилися від аварійних ножиць та ножиць холодного розрізання збирають у короби, які встановлюють у ямах. Після того, як короб буде заповнений, його витягають за допомогою електричного мостового крану і завантажують у залізничні вагони.

Окалина, що утворилася під робочими клітями прокатного стану в процесі обробки, змивають водою у відстійник окалини, який розташовано у скрапному прольоті, з якого окалину витягають електричним мостовим грейферним краном та завантажують у залізничні вагони. Окалину відвантажують з відстійника з періодичністю не менше одного вагона за дві доби.

Валки прокатних стані періодично підлягають ремонту та розточуванню, що здійснюють у вальцетокарному цеху. Для зберігання прокатних валків у потрібній кількості встановлюють спеціальні стенди.

## 2.2 Термічна обробка арматури

Термічна обробка арматури – це технологічний процес на меті якого зміна структури та фізико-механічних властивостей матеріалу арматурної сталі, що відбувається шляхом контрольованого нагрівання матеріалу, витримки його

					КНУ.РБ.136.26.113с-09.02.РУТВА	Аркуш
						2.3
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

деякий час та охолодження. В результаті термічної обробки арматури відбувається підвищення її міцності, твердості та зносостійкості.

Основні етапи термічної обробки – це нагрівання арматури до визначеної температури, витримка протягом визначеного періоду часу при заданій температурі та охолодження. Існує декілька видів термічної обробки в залежності від хімічного складу та призначення металовиробів.

Термічна обробка арматури № 10, яка виготовляється з низьколегованої сталі 35 ГС спрямована на її зміцнення, покращення оброблюваності та зняття напружень. Для цього виконується термічна обробка – нормалізація, де відбувається нагрівання матеріалу до температури 860-880°C та відпуску, що здійснюється при температурі 500-600°C.

Після нормалізації відбувається повільне охолодження арматурної сталі на повітрі, чим зменшуються внутрішні напруження в матеріалі.

Таким чином відбувається термічне зміцнення арматури № 10 зі сталі 35ГС.

### 2.3 Розрахунок калібрування арматурної сталі №10

Для отримання вірного профілю арматури № 10 потрібно визначити кількість проходів, на яку впливає захоплююча здатність прокатних валків, граничні кути захоплення та максимально можливе обтиснення металу прокатними валками. На граничні кути захоплення металу прокатними валками має суттєвий вплив швидкість прокатування та коефіцієнт тертя, що виникає між оброблюваним матеріалом та прокатними валками. Величина можливого обтиснення залежить від граничних кутів захоплення металу. Величина обтиснення має суттєвий вплив на потужність прокатування та інтенсивність зношування прокатних валків.

При розрахунку калібрування потрібно особливу увагу приділити умовам деформації у чистових та передчистових калібрах з метою отримання вірного профілю. У чистових калібрах коефіцієнт витяжки знаходиться в межах 1,1 – 1,2, у передчистових калібрах коефіцієнт витяжки знаходиться в межах 1,23 – 1,35.

					КНУ.РБ.136.26.113с-09.02.РУТВА	Аркуш
						2.4
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Такий розподіл коефіцієнтів забезпечить отримання якісного профілю при оптимальних витяжках.

При визначенні калібрування прокатних валків бажано досягти мінімальну кількість проходів, що забезпечить збільшення продуктивності процесу, бажано використовувати як можна менше складних фасонних калібрів, а більших простих за формою.

Калібрування прокатних валків повинно забезпечувати рівномірність деформації за усім профілем арматури, забезпечувати рівномірне зношення усіх калібрів та максимальний термін їх служби та сприяти підвищенню продуктивності процесу прокатування.

Велику увагу при розрахунку калібрувань потрібно приділити чистовому калібру арматурного профілю (рис. 2.1) та передчистовому калібру, що має овальний профіль (рис. 2.2).

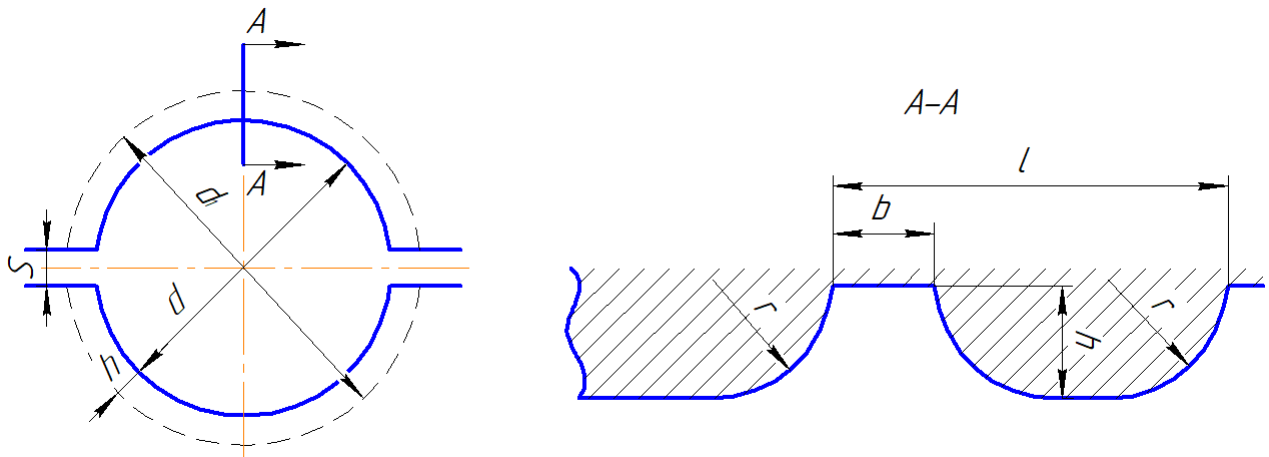


Рисунок 2.1 – Чистовий калібр для отримання арматурного профілю:

$S$  – зазор між прокатними валками;  $d$  – внутрішній діаметр;  $d_1$  – зовнішній діаметр;  $h$  – висота виступу;  $r$  – радіус закруглення;  $b$  – ширина виступу;

$l$  – крок гвинтової лінії

Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

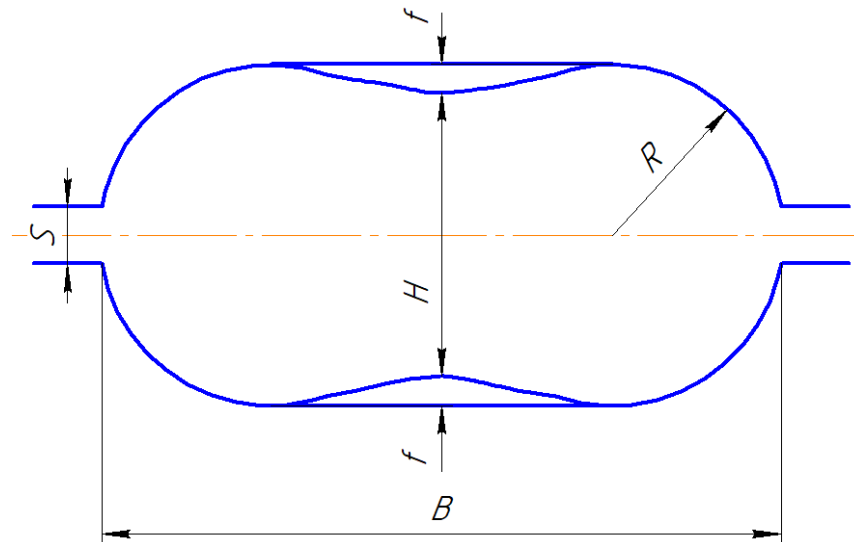


Рисунок 2.2 – Передчистовий овал для прокатування круглої арматурної сталі:  $B$  – ширина калібру;  $H$  – висота;  $f$  – прогин калібру

Для розрахунку калібрувань використовуємо наступні вихідні дані:

- безперервно-лита заготовка має розміри поперечного перерізу  $80 \times 80$  мм і довжину 1140 мм;

- швидкість прокатування в останній прокатній кліті дорівнює  $v_{15} = 15$  м/с.

Площа поперечного перерізу арматури № 10 дорівнює:

$$F_n = \frac{\pi d_H^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 10^2}{4} = 78,5 \text{ мм}^2$$

Використовуючі практичні дані, приймаємо 13 проходів.

Тринадцятий прохід здійснюється у п'ятнадцятій прокатній кліті.

Розрахунок калібрування будемо виконувати проти руху прокатування.

Визначаємо загальний коефіцієнт витяжки за усіма проходками за формулою:

$$\mu_{\text{заг}} = \frac{F_0}{2F_n}, \quad (2.1)$$

де  $F_0$  – площа поперечного перерізу безперервно-ливої заготовки:

$F_n$  – площа поперечного перерізу готового профілю арматури № 10.

					КНУ.РБ.136.26.113с-09.02.РУТВА	Аркуш
						2.6
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Після підстановки, отримаємо:

$$\mu_{\text{заг}} = \frac{80 \cdot 80}{2 \cdot 78,5} = 40,8.$$

Загальний коефіцієнт витяжки розподіляємо за проходами за формулою:

$$\mu_i = \sqrt[n]{\lambda}, \quad (2.2)$$

де  $n$  – кількість проходів, в нашому випадку  $n = 13$ .

Після підстановки, отримаємо

$$\mu_i = \sqrt[13]{40,8} = 1,33.$$

Розрахунок починаємо з останнього чистового калібру, що має спеціальну форму з внутрішніми виїмками.

П'ятнадцята кліть чистова горизонтально розташована. Має калібр з нарізками для отримання точного чистового профілю арматури № 10.

Має наступні розміри:

- площа поперечного перерізу  $F_{15} = 78,5 \text{ мм}^2$ ;
- висота чистового профілю дорівнює  $h_{15} = 10,0 \text{ мм}$ ;
- ширина чистового профілю  $b_{15} = 10,5 \text{ мм}$ ;
- зазор між прокатними валками  $S_{15} = 1,5 \text{ мм}$ .

Катаючий діаметр прокатних валків дорівнює:

$$D_{к15} = D_6 + S_{15} - F_{15}/b_{15} = 380 + 1,5 - \frac{78,5}{10,5} = 374 \text{ мм}.$$

Оберти валків в п'ятнадцятій кліті визначаються за формулою:

$$n_{15} = \frac{60 \cdot v}{\pi D_{к15}}, \quad (2.3)$$

де  $D_{к15}$  – катаючий діаметр прокатних валків 15-ї прокатної кліті.

Після підставлення потрібних значень, отримаємо:

$$n_{15} = \frac{60 \cdot 15}{3,14 \cdot 0,374} = 766 \text{ об/хв}.$$

Константа калібрування буде дорівнювати:

$$K = 2F_n D_{к13} n_{13} = 2 \cdot 78,5 \cdot 374 \cdot 766 = 4,5 \cdot 10^7.$$

					КНУ.РБ.136.26.113с-09.02.РУТВА	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		2.7

Глибина врізання в калібр визначається за формулою:

$$t_{15} = \frac{h_{15} - S_{15}}{2}. \quad (2.4)$$

Після підставлення необхідних значень, отримаємо:

$$t_{15} = \frac{10 - 1,5}{2} = 4,23 \text{ мм.}$$

Кут захоплення дорівнює  $\alpha_{15} = 14^\circ$ .

Приймаємо, що коефіцієнт витяжки у останньому калібрі дорівнює:

$$\mu_{15} = 1,3.$$

Чотирнадцята кліть – передчистовий овальний калібр, який розташовано вертикально

Величину в зазору в передостанньому калібрі приймаємо:

$$S_{14} = 1,0 \text{ мм.}$$

Враховуючи коефіцієнт витяжки, визначаємо площу поперечного перерізу в передчистовому калібру за формулою:

$$F_{14} = F_{15} \cdot \mu_{15}. \quad (2.5)$$

Після підстановки необхідних значень, отримаємо:

$$F_{14} = 78,5 \cdot 1,3 = 102,05 \text{ мм}^2.$$

Висота овального калібру визначається за формулою:

$$h_{14} = \frac{3F_{14}}{2b_{14} + s}. \quad (2.6)$$

Після підставлення необхідних значень, отримаємо:

$$h_{14} = \frac{3 \cdot 102}{2 \cdot 9 + 1} = 16,1 \text{ мм.}$$

Ширина калібру визначається за формулою:

$$b_{14} = b_{15} - \Delta h, \quad (2.7)$$

де  $\Delta h$  – величина обтиснення, для останнього проходу приймаємо рівним  $\Delta h = 1,0$  мм.

Після підставлення потрібних значень, отримаємо:

$$b_{14} = 10 - 1 = 9 \text{ мм.}$$

					КНУ.РБ.136.26.113с-09.02.РУТВА	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		2.8

При прокатуванні під час обтиснення відбувається розширення матеріалу. Приймаємо розширення в чистовому калібрі з урахуванням практичних даних рівним:

$$\Delta b_{14} = 6,1 \text{ мм.}$$

Радіус закруглень у буртів калібру приймаємо, що дорівнює:

$$r = 0,1 \times 10 = 1 \text{ мм.}$$

Кут захоплення смуги прокатними валками дорівнює:  $\alpha_{14} = 13^\circ$ .

Оберти валків в чотирнадцятій передчистовій прокатній кліті буде дорівнювати:

$$n_{14} = 589 \text{ об/хв.}$$

швидкість прокатування у цьому випадку буде дорівнювати: 11,5 м/с.

Тринадцята кліть уявляє собою ребровий овал горизонтальний. У цьому калібрі відбувається спарене прокатування.

Приймаємо зазор між прокатними валками дорівнює:  $S_{13} = 1 \text{ мм.}$

Витяжка в попередньому калібрі дорівнює:  $\mu_{14} = 1,4$ .

Площа окремого поперечного перерізу розкату в тринадцятому калібрі, що має форму ребрового овалу, дорівнює:

$$F_{13} = F_{14} \cdot \mu_{14} = 102,05 \cdot 1,4 = 142,87 \text{ мм}^2.$$

Через те, що прокатування у цьому калібрі, отримаємо загальну площу поперечного перерізу розкату:

$$F_{13\text{заг}} = 2 \cdot 142,87 = 285,74 \text{ мм}^2.$$

В цьому калібрі відбувається процес розділення.

Для отримання арматури № 10 скористаємося схемою створення «фіктивної» перемички з подальшим її повертанням впродовж поздовжньої осі, як показано на рисунку 1.6. Таку перемичку розташуємо на меншій грані, як показано на рисунку 1.6, а.

У цьому випадку товщину «фіктивної» перемички приймають рівною 10 – 30% від ширини граней, які з'єднуються:

$$h_n = 0,2A \text{ або } h_n = 0,2B, \quad (2.8)$$

					КНУ.РБ.136.26.113с-09.02.РУТВА	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		2.9

де  $A$  – вузький бік розкату;

$B$  – широкий бік розкату.

Ширина перемички  $\Delta$  складає менше 20 % від її товщини:

$$\Delta < 0,2 h_n. \quad (2.9)$$

У цьому випадку, грані, які з'єднуються, знаходяться, майже, в одній площині.

Під час захоплення двониткового розкату прокатними валками, на вершини заготовки діють нормальні сили  $P_1$  та  $P_2$ , які за величиною дорівнюють силі прокатування. При розділенні розкату утворюється крутячий момент, який дорівнює:

$$M_{кр} = 0,5m(P_1 + P_2), \quad (2.10)$$

де  $m$  – плече моменту, яке дорівнює:

$$m = B \cos \varphi - A \sin \varphi, \quad (2.11)$$

де  $\varphi$  – кут нахилу граней розкату до утворюючої прокатних валків, який дорівнює:

$$\varphi = \arctg \frac{A}{B} \left( 1 - \frac{h_n}{A} \right). \quad (2.12)$$

На початку повертання заготовок створюється опір пластичній деформації, виникає момент опору  $M_w$ , який залежить від розтягуючої сили  $F$  і зсувної сили  $Q$ , що діють у зоні перемички.

При цьому момент опору деформації дорівнює:

$$M_w = \tau_s w_p, \quad (2.13)$$

де  $\tau_s$  – напруження зсуву;

$w_p$  – момент пластичного опору.

Розтягуюча сила у цьому випадку дорівнює:

$$F = q_n \sigma, \quad (2.14)$$

$q_n$  – площа зрізу в зоні перемички, яка дорівнює:

$$q_n = 0,5 h_n l_n, \quad (2.15)$$

де  $l_n$  – довжина зрізаємої перемички;

$\sigma$  – напруження матеріалу при розриві.

					КНУ.РБ.136.26.113с-09.02.РУТВА	Аркуш
						2.10
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Сила зсуву, що виникає при розриві перемички, дорівнює:

$$Q = q_n \tau_s, \quad (2.16)$$

Момент пластичного опору дорівнює:

$$w_p = \frac{1}{6} (3B - A) A^2. \quad (2.17)$$

Таким чином, при створенні умов, які забезпечують досягнення дотичних напружень у перерізі перемички напружень зсуву, почне відбуватися повертання розкату навколо своєї поздовжньої осі зі зсувом матеріалу в зоні перемички.

Приймаємо, що відношення осей ребрового овалу  $\frac{h}{b} = 1,13$  за таблицею овалів [2].

Відношення площі поперечного перерізу в даному калібрі до його висоти приймаємо рівною:

$$\frac{F_{13}}{b_{13}^2} = 0,962.$$

Виходячи з цього, отримаємо ширину тринадцятого калібру рівною:

$$b_{13} = \sqrt{\frac{F}{0,962}} = \sqrt{\frac{142,87}{0,962}} = 12,2 \text{ мм.}$$

Висота у цьому калібрі дорівнює:

$$h_{13} = 1,13 \cdot 12,2 = 13,8 \text{ мм.}$$

Відношення радіусу калібру до його висоти дорівнює:

$$\frac{r}{h} = 0,6725.$$

Радіус ребрового овалу в тринадцятому калібрі дорівнює:

$$r_{13} = h_{13} \cdot 0,6725 = 13,8 \cdot 0,6725 = 9,3 \text{ мм.}$$

Обтиснення в тринадцятому калібрі дорівнює:

$$\Delta h_{13} = b_{14} - h_{13} = 16,1 - 13,8 = 2,3 \text{ мм.}$$

Розширення при цьому дорівнює:

$$\Delta b_{13} = b_{14} - h_{13} = 12,2 - 9 = 3,2 \text{ мм.}$$

Катаючий діаметр в тринадцятому калібрі дорівнює:

$$D_{к13} = 380 + 1 - 142,87/9 = 365,1 \text{ мм.}$$

					КНУ.РБ.136.26.113с-09.02.РУТВА	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		2.11

Оберти прокатних валків:

$$n_{13} = \frac{K}{F_{13} \cdot D_{к13}} = \frac{4,5 \cdot 10^7}{2 \cdot 142,87 \cdot 365,1} = 431 \text{ об/хв.}$$

Швидкість прокатки в тринадцятому калібрі дорівнює:

$$V_{13} = \frac{\pi \cdot D_{к13} \cdot n_{13}}{60} = 8 \frac{\pi \cdot D_{к15} \cdot n_{15}}{60} = \frac{3,14 \cdot 0,365 \cdot 431}{60} = 8,2 \text{ м/с.}$$

Кут захвату при прокатуванні в тринадцятому калібрі дорівнює:

$$\alpha_{13} = \arccos\left(1 - \frac{\Delta h_{13}}{D_{к13}}\right) = 11^\circ 30'.$$

Глибина врізу в тринадцятий калібр дорівнює:

$$t_{13} = \frac{h_{13} - S_{13}}{2} = \frac{13,8 - 1,0}{2} = 6,4 \text{ мм.}$$

Дванадцятий калібр при отриманні арматури № 10 на даному прокатному стані не використовуємо.

Одинадцята кліть уявляє собою розділовий здвоєний квадрат.

Приймаємо:

- величину зазору рівною:  $S_{11} = 2,0 \text{ мм}$ ;
- діаметр бочки прокатних валків дорівнює:  $D_{\sigma} = 380 \text{ мм}$ ;
- катаючий діаметр прокатних валків дорівнює:  $D_{к} = 370 \text{ мм}$ ;
- коефіцієнт витяжки при прокатуванні в одинадцятому калібрі приймаємо рівною:  $\mu_{11} = 1,4$ .

Площа поперечного перерізу розкату, що отриманий в одинадцятому калібрі буде дорівнювати:

$$F_{11} = F_{12} \cdot \mu_{11} = 285,74 \cdot 1,4 = 400 \text{ мм}^2.$$

Одинадцятий калібр має квадратну форму, де бік квадрату буде дорівнювати:

$$C_{кв11} = \sqrt{\frac{400}{0,92}} = 20,1 \text{ мм.}$$

З урахуванням закруглень висота калібру:

$$h_{11} = 1,4 \cdot 20,1 - 0,83 = 28,36 \text{ мм};$$

					КНУ.РБ.136.26.113с-09.02.РУТВА	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		2.12

радіус закруглень у вершини калібру дорівнює:

$$r=0,2 \cdot 15,0=3,0 \text{ мм.}$$

Ширина розкату  $b_{11} = 2 \cdot b_{12} + \Delta b_{10}$ , мм.

Приймаємо за практичними даними, що розширення у калібрі дорівнює:

$$\Delta b_{11}=3 \text{ мм.}$$

Ширина розкату  $b_{11} = 2 \cdot 12,2 + 3 + 1,5 = 28,9$  мм,

де  $b_{гр11}=1,5$  мм – ширина гребня, що утворюється при підготовки до розділення.

Глибина гребня дорівнює:  $t=0,3 \cdot h_{10}=0,3 \cdot 20=6$  мм.

Висота розділяючого гребня дорівнює:  $h_{гр11}=20-2 \cdot 6=8$  мм.

Обтиснення в калібрі дорівнює:  $\Delta h_{11}=h_{гр11}-h_{гр13}=0,2$  мм.

Обтиснення в зоні гребня дорівнює:  $\Delta h_{ГР1} = h_{гр11}-S_{11}=8-1=7$  мм.

Кут захвату в одинадцятому калібрі дорівнює:  $\alpha_{11}=11^\circ$ .

Оберти прокатних валків одинадцятої кліті дорівнюють:

$$n_{11} = \frac{K}{F_{10} \cdot D_{к10}} = \frac{4,5 \cdot 10^7}{2 \cdot 200 \cdot 370} = 304 \text{ об/хв.}$$

Швидкість прокатки у одинадцятому калібрі дорівнює:

$$V_{11} = \frac{3,14 \cdot 0,37 \cdot 304}{60} = 5,9 \text{ м/с.}$$

Десята кліті не застосовується для отримання арматурного профілю № 10.

Дев'ята кліть має квадратну форму, розташовано горизонтально.

Зазор між прокатними валками приймаємо рівним:

$$S_9 = 5,2 \text{ мм.}$$

Величина витяжки при прокатуванні у дев'ятій прокатній кліті дорівнює:

$$\mu_9=1,4.$$

Площа поперечного перерізу розкату в дев'ятому калібрі дорівнює:

$$F_9 = F_{11} \cdot \mu_9 = 400 \cdot 1,4 = 560 \text{ мм}^2.$$

Бік квадрату у дев'ятому калібрі дорівнює:

$$C_{кв9} = \sqrt{\frac{F_9}{0,92}} = \sqrt{\frac{560}{0,92}} = 25 \text{ мм.}$$

					КНУ.РБ.136.26.113с-09.02.РУТВА	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		2.13

Висоту і ширину квадратного калібру визначаємо з урахуванням радіусу закруглень, що буде дорівнювати:

$$h_9 = b_9 = 1,41 \cdot 25 = 34 \text{ мм.}$$

Радіус закруглень у вершини калібру та по буртам буде дорівнювати:

$$r_1 = r_2 = 0,1 \cdot 34 = 3,4 \text{ мм. Приймаємо 3 мм.}$$

Величина обтиснення у дев'ятому калібрі дорівнює:  $\Delta h_9 = 34 - 20 = 14,0 \text{ мм.}$

Розширення при проході у калібрі:  $\Delta b_9 = 48,9 - 34,0 = 14,9 \text{ мм.}$

Катаючий діаметр в дев'ятому калібрі:  $D_{к9} = 380 + 5,2 - 360/34 = 369 \text{ мм.}$

Оберти прокатних валків дев'ятого калібру дорівнюють:

$$n_9 = \frac{K}{F_9 \cdot D_{к9}} = \frac{4,5 \cdot 10^7}{560 \cdot 369} = 218 \text{ об/хв.}$$

Швидкість прокатування в калібрі:

$$V_9 = \frac{3,14 \cdot 0,37 \cdot 218}{60} = 4,6 \text{ м/с.}$$

Для розрахунку чорнової групи клітей використовуємо дані калібрування прокатних валків, які існують на підприємстві.

Діаметри бочки прокатних валків для чорнової групи клітей дорівнюють: 400 мм. Розрахунок калібрувань проводимо далі, за рухом прокатування, починаючи з сьомої прокатної кліті, яка має горизонтальний овальний калібр.

Приймаємо зазор між прокатними валками в сьомій прокатній кліті дорівнює  $s = 7 \text{ мм.}$

Коефіцієнт витяжки в цій прокатній кліті дорівнює:  $\mu_7 = 1,4.$

Площа поперечного перерізу калібру сьомого калібру дорівнює:

$$F_7 = 720 \cdot 1,4 = 975 \text{ мм}^2.$$

Відношення діагоналей ребрового овалу в сьомому калібрі дорівнює:

$$\frac{h_7}{b_7} = 1,281.$$

Відношення площі поперечного перерізу сьомого калібру до його ширини дорівнює:

$$\frac{F_7}{b^2} = 0,919;$$

					КНУ.РБ.136.26.113с-09.02.РУТВА	Аркуш
						2.14
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

відношення радіусу до висоти у сьомому калібрі дорівнює:

$$\frac{r_7}{h_7} = 0,6331.$$

Ширина сьомого овального калібру дорівнює:

$$b_7 = \sqrt{\frac{F_7}{0,919}} = \sqrt{\frac{975}{0,919}} = 32 \text{ мм.}$$

Висота сьомого овального калібру дорівнює:  $h_7=35$  мм.

Обтиснення в сьомому овальному калібрі дорівнює:  $\Delta h_7=34 - 32=2$  мм.

Розширення в сьомому овальному калібрі дорівнює:  $\Delta b_7=53 - 34=1$  мм.

Радіус овалу сьомого калібру дорівнює:  $r_{os} = 32 \cdot 0,6331 = 20,3$  мм.

Катаючий діаметр сьомого калібру дорівнює:

$$D_{k7}=400+7 - 975/32=377 \text{ мм.}$$

Кут захоплення смуги дорівнює:  $\alpha_7=9^\circ 20'$ .

Оберти валків прокатних валків у сьомій прокатній кліті дорівнюють:  
 $n=190$  об/хв.

Швидкість прокатки в сьомій прокатній кліті дорівнює:  $v=4,0$  м/с.

Глибина врізання у калібри прокатних валків сьомої кліті дорівнює:

$$t_7=14 \text{ мм.}$$

Радіус закруглень по буртам прокатних валків дорівнює:  $r_7=0,1 \cdot 35=3,5$  мм.

Приймаємо 3 мм.

Наступна шоста прокатна кліть має овальний калібр, розташовано горизонтально.

Приймаємо зазор між буртами прокатних валків шостої кліті дорівнює:  
 $s_6=10$  мм.

Витяжку в калібрі шостої прокатної кліті дорівнює  $\mu_6=1,32$ .

Площа поперечного перерізу калібру шостої прокатної кліті дорівнює:  
 $F_6=1290$  мм<sup>2</sup>.

Приймаємо величину обтиснення в шостій прокатній кліті:  $\Delta h_6 = 6$  мм [1].

Висота калібру в шостій прокатній кліті дорівнює:  $h_6=h_7 - \Delta h_6=26$  мм.

					КНУ.РБ.136.26.113с-09.02.РУТВА	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		2.15

Ширина овалу в шостій прокатній кліті дорівнює:  $b_6 = \frac{3F}{2h+S} = 60$  мм.

При прокатуванні відбувається розширення в шостій прокатній кліті, яке дорівнює:  $\Delta h_6 = 60 - 35 = 25$  мм.

Захоплення смуги в шостій прокатній кліті здійснюється під кутом:

$$\alpha_6 = 15^\circ.$$

Катаючий діаметр прокатних валків шостої кліті дорівнюють:

$$D_{к6} = 400 + 12,5 - \frac{1290}{60} = 391 \text{ мм.}$$

Оберти валків прокатних валків шостої кліті:  $n_6 = 175$  об/хв.

Швидкість прокатування в шостій прокатній кліті:  $v_6 = 3,2$  м/с.

Глибина врізання в прокатні валки складає:  $t_6 = (26 - 10)/2 = 13$  мм.

П'ята робоча кліть має чорновий ребровий овальний горизонтальний калібр.

Величина зазору між буртами прокатних валків в п'ятій робочій кліті дорівнює:  $S_5 = 11$  мм.

Коефіцієнт витяжки в п'ятій кліті складає:  $\mu_5 = 1,3$ .

Площа поперечного перерізу розкату в п'ятій кліті дорівнює:  $F_5 = 1677$  мм<sup>2</sup>.

Відношення діагоналей ребрового овалу в калібрі п'ятої прокатної кліті:

$$\frac{h_5}{b_5} = 1,30.$$

Відношення площі поперечного перерізу до ширини розкату дорівнює:

$$\frac{F}{b^2} = 0,962.$$

Відношення радіусу до висоти калібру в п'ятій кліті дорівнює:

$$\frac{r}{h} = 0,6725.$$

Ширина ребрового овалу в п'ятій прокатній кліті:  $b_5 = 41,5$ .

Висота ребрового овалу в п'ятій кліті:

$$h_5 = 53 \text{ мм.}$$

Обтиснення при прокатуванні дорівнює:  $\Delta h_5 = 52 - 26 = 26$  мм.

					КНУ.РБ.136.26.113с-09.02.РУТВА	Аркуш
						2.16
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розширення в п'ятому калібрі:  $\Delta b = 60 - 32 = 28$  мм.

Радіус овалу ребрового овалу в калібрі:  $r_{ob} = 26,9$  мм.

Катаючий діаметр прокатних валків:  $D_{к5} = 400 + 11 - \frac{1650}{40} = 370$  мм.

Частота обертання прокатних валків:  $n_5 = 145$  об/хв.

Швидкість прокатування в п'ятому калібрі:  $v_5 = 2,4$  м/с.

Глибина врізання в валки:  $t = (53 - 12)/2 = 20,5$  мм.

Четвертий калібр має форму гладкої бочки, розташований горизонтально.

Приймаємо величину зазору в цьому калібрі:  $s_4 = 31$  мм.

Витяжка в калібрі четвертої прокатної кліті:  $\mu_4 = 1,4$ .

Площа поперечного перерізу розкату при прокатуванні в кліті дорівнює:

$$F_4 = 2480 \text{ мм}^2.$$

Ширина четвертого калібру дорівнює:  $B_4 = 80,38$  мм.

Висота калібру в четвертій прокатній кліті:  $h_4 = 31$  мм.

Обтиснення в калібрі дорівнює:  $\Delta h_4 = 53 - 31 = 22$  мм.

Розширення в калібрі:  $\Delta b_4 = 80,38 - 41,5 = 38,88$  мм.

Катаючий діаметр прокатних валків:  $D_{к4} = 400$  мм.

Оберти прокатних валків дорівнюють:  $n_4 = 130$  об/хв.

Швидкість прокатування в четвертій прокатній кліті:  $v_4 = 1,8$  м/с.

Глибина врізання калібру для гладкої бочки дорівнює 0:  $t_4 = 0$ .

Кут захоплення смуги дорівнює:  $\alpha = 18^\circ$ .

Третій калібр має ящикову форму, розташований горизонтально.

Величина зазору в третьому калібрі дорівнює:  $s_3 = 18$  мм.

Коефіцієнт витяжки в калібрі:  $\mu_3 = 1,6$

Площа поперечного перерізу калібру:  $F_3 = 4000$  мм<sup>2</sup>.

Висота третього калібру дорівнює:  $h_3 = 68$  мм.

Ширина третього калібру по дну рівчака дорівнює:  $b_{3д} = 54,5$  мм.

Ширина третього калібру по вершині рівчака дорівнює:  $b_{3в} = 60$  мм.

					КНУ.РБ.136.26.113с-09.02.РУТВА	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		2.17

Обтиснення в третьому калібрі дорівнює:

$$\Delta h_3 = 68 - 31 = 37 \text{ мм.}$$

Розширення при прокатуванні в калібрі складає:  $\Delta b = 80,38 - 54,5 = 26,88 \text{ мм.}$

Катаючий діаметр прокатних валків в третій кліті:

$$D_{к3} = 400 + 12 - \frac{3650}{60} = 368 \text{ мм.}$$

Оберти валків в третій кліті:  $n_3 = 90 \text{ об/хв.}$

Швидкість прокатування дорівнює:  $v_3 = 1,73 \text{ м/с.}$

Глибина врізання в калібр третьої кліті:  $t_3 = (68 - 18) / 2 = 25 \text{ мм.}$

Швидкість прокатування в третій прокатній кліті:  $v_3 = 1,04 \text{ м/с.}$

Кут захоплення дорівнює:  $\alpha = 24^\circ.$

Перша і друга прокатні кліті має ящикові калібри, що розташовані горизонтально.

Висота смуги в першому калібрі дорівнює:  $h_1 = 65 \text{ мм;}$

ширина смуги в першому калібрі дорівнює:  $b_1 = 85 \text{ мм;}$

висота смуги в другому калібрі дорівнює:  $h_2 = 44 \text{ мм;}$

ширина смуги в другому калібрі дорівнює:  $b_2 = 94 \text{ мм.}$

Витяжку в другому калібрі дорівнює  $\mu_1 = 1,17.$

У другій прокатній кліті виконується абсолютне обтиснення, величина якого дорівнює:

$$\Delta h = h_1 - h_2 = 64 - 44 = 21 \text{ мм.}$$

При цьому виконується відносне обтиснення:

$$\varepsilon = \frac{H-h}{H} \cdot 100\%; \varepsilon = 32,3076\%.$$

Ширина калібру по дну дорівнює:  $b_k = 0,98 \cdot B = 83,3 \text{ мм.}$

Приймаємо –  $b_k = 85 \text{ мм.}$

Зазор між прокатними валками в другому калібрі:  $s_2 = 8 \text{ мм.}$

Глибина рівчака другого калібру дорівнює:  $h_p = \frac{h-s}{2} = 8, \text{ мм.}$

Обтиснення в калібрі дорівнює:  $\Delta b = 9,0 \text{ мм.}$

					КНУ.РБ.136.26.113с-09.02.РУТВА	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		2.18

Ширина по буртам прокатних валків:

$$B_k = B + 1,5 \cdot \Delta b, \text{ мм}; B_k = 98,5 \text{ мм.}$$

Приймаємо:  $B_k = 100 \text{ мм.}$

Швидкість прокатування в другій прокатній кліті:  $v_2 = 0,82 \text{ м/с.}$

$$\text{Величина випуску калібру } \delta, \%: \delta = \left( \frac{B_k - b_k}{2 \cdot h_p} \right) \cdot 100; \delta = 41,6.$$

Нахил стінки калібру:  $\psi = \text{ctg}(0,01 \cdot \delta); \psi = 0,3947 \text{ радіан або } 22,6^\circ.$

Радіуси закруглень по дну у буртів калібрів дорівнюють:

$$R_1 = 0,15 \cdot b_k, \text{ мм}; R_2 = 0,1 \cdot b_k, \text{ мм};$$

$$R_1 = 12,75 \text{ мм}; R_2 = 8,5 \text{ мм.}$$

Приймаємо  $R_1 = 15 \text{ мм}; R_2 = 10 \text{ мм.}$

Кут захоплення в другому калібрі дорівнює:  $\alpha = 26^\circ.$

Площа поперечного перерізу калібру:

$$F_k = [s \cdot B_k + (B_k + b_k) \cdot h_p] - \\ - R_1^2 \cdot \left[ \text{tg} \left[ 0,5 \cdot \left( \frac{\pi}{2} - \psi \right) \right] - 0,5 \cdot \left( \frac{\pi}{2} - \psi \right) \right] \cdot 4 = 4259 \text{ мм}^2.$$

Величина лиски бічної поверхні розкату  $s'$ :

$$h'_p = \frac{b - b_k}{2} \cdot \text{tg} \left( \frac{\pi}{2} - \psi \right), \text{ мм}; h'_p = 5,29 \text{ мм.}$$

$$s' = h - 2 \cdot h'_p, \text{ мм}; s' = 33,4 \text{ мм.}$$

Площа поперечного перерізу отриманого розкату:

$$F_n = [s' \cdot b + (b + b_k) \cdot h'_p] - \\ - R_1^2 \cdot \left[ \text{tg} \left[ 0,5 \cdot \left( \frac{\pi}{2} - \psi \right) \right] - 0,5 \cdot \left( \frac{\pi}{2} - \psi \right) \right] \cdot 4 = 3995 \text{ мм}^2.$$

Перший калібр має ящикову форму, розташований горизонтально.

До першого калібру надходить безперервно-лита заготовка в гарячому стані, що має поперечні розміри:

$$H = 80 \text{ мм}; B = 80 \text{ мм.}$$

Розміри першого калібру дорівнюють:

$$\text{висота } h = 65 \text{ мм}; \text{ ширина } b = 85 \text{ мм.}$$

					КНУ.РБ.136.26.113с-09.02.РУТВА	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		2.19

В калібрі відбувається абсолютне обтиснення, яке за величиною дорівнює:

$$\Delta h = H - h = 80 - 65 = 15, \text{ мм.}$$

Відносне обтиснення при цьому дорівнює:  $\varepsilon = \frac{H-h}{H} \cdot 100$ ;  $\varepsilon = 19,753$ .

Ширина дна калібру дорівнює:  $b_k = 0,99 \cdot B = 80,19$  мм.

Приймаємо –  $b_k = 80$  мм.

Зазор:  $s = 9$  мм.

Глибина рівчака:  $h_p = \frac{h-s}{2}$ , мм;  $h_p = 28$  мм;  $\Delta b = 4,0$  мм.

Ширина по буртам:

$B_k = B + 1,5 \cdot \Delta b$ , мм;  $B_k = 87$  мм. Приймаємо:  $B_k = 89$  мм.

Величина випуску  $\delta$ , %:  $\delta = \left( \frac{B_k - b_k}{2 \cdot h_p} \right) \cdot 100$ ;  $\delta = 16$ .

$\psi = \text{ctg}(0,01 \cdot \delta)$ ;  $\psi = 0,159$  радіан або  $9,09^\circ$ .

Радіуси по дну й у буртів:  $R_1 = 0,15 \cdot b_k$ , мм;  $R_2 = 0,1 \cdot b_k$ , мм;

$R_1 = 12$  мм;  $R_2 = 8$  мм.

Площа поперечного перерізу першого калібру:

$$F_k = [s \cdot B_k + (B_k + b_k) \cdot h_p] - R_1^2 \cdot \left[ \text{tg} \left[ 0,5 \cdot \left( \frac{\pi}{2} - \psi \right) \right] - 0,5 \cdot \left( \frac{\pi}{2} - \psi \right) \right] \cdot 4 = 5280 \text{ мм}^2.$$

Величина лиски бічної поверхні розкату в першому калібрі  $s'$ :

$$h'_p = \frac{b - b_k}{2} \cdot \text{tg} \left( \frac{\pi}{2} - \psi \right), \text{ мм}; h'_p = 7,59 \text{ мм.}$$

$s' = h - 2 \cdot h'_p$ , мм;  $s' = 50$  мм.

Кут захоплення в першому калібрі дорівнює:  $\alpha = 26^\circ$ .

Витяжку в першому калібрі дорівнює  $\mu_1 = 1,14$ .

Площа поперечного перерізу розкату в першому калібрі:

$$F_n = [s' \cdot b + (b + b_k) \cdot h'_p] - R_1^2 \cdot \left[ \text{tg} \left[ 0,5 \cdot \left( \frac{\pi}{2} - \psi \right) \right] - 0,5 \cdot \left( \frac{\pi}{2} - \psi \right) \right] \cdot 4 = 5045 \text{ мм}^2.$$

Швидкість прокатування в першій прокатній кліті:  $v_1 = 0,6$  м/с.

Дані розрахунку заносимо в таблицю 2.1, де наведено калібрування арматури № 10, з урахуванням форми і кутів нахилу, що мають рівчаки калібру.

					КНУ.РБ.136.26.113с-09.02.РУТВА	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		2.20

Таблиця 2.1 – Калібрування чорнової групи клітей

Група клітей	Номер клітей	Форма калібра	Розмір калібрів			Розміри смуги			Коефіцієнт витяжки, м	Обтиснення $\Delta h$ , мм	Уширення $\Delta b$ , мм	Діаметр валків		$n$ , об/хв	$V$ , м/с	Кут захвата $\alpha$ , °
			ширина, мм	глибина врізу, мм	зазор, мм	висота, мм	ширина, мм	площа, мм <sup>2</sup>				номінальний	катаючий			
Чорнові	Заготовка 80×80															
	1	Ящиковий	89,0	27,5	10,0	65,0	85,0	5614	1,14	16,0	4,0	400	351	83	0,6	26
	2	Ящиковий	100,0	18,0	8,0	44,0	94,0	4798	1,17	21,0	9,0	400	369	85	0,82	26
	Кантування															
	3	Ящиковий	60,0	25,0	18,0	68,0	54,5	2998	1,6	26,0	10,5	400	365	90	1,04	24
	4	Гладка бочка	80,5	-	31,0	31,0	80,5	2141	1,4	23,5	12,5	400	400	130	1,8	18
	Кантування															
	5	Рябовий овал	41,5	20,5	12	52	41	1399	1,53	27	10	400	390	145	2,4	26
	6	Овал	60	13	10	26	60	1250	1,32	11,5	6,0	400	400	175	3,2	15
7	Рябовий овал	32	14	7	35	32	975	1,4	1	2	400	377	190	4,0	20	

КНУ.РБ.136.26.113с-09.02.РУТВА

Вим.

Арк.

№ докум.

Підпис

Дата

2.21

Аркуш

Таблиця 2.2 – Калібрування чистових груп клітей

Група клітей	Номер клітей	Форма калібра	Розмір калібрів			Розміри смуги+			Коефіцієнт витяжки, $\mu$	Обтиснення $\Delta h$ , мм	Уширення $\Delta b$ , мм	Діаметр валків		$n$ , об/хв	$V$ , м/с	Кут захвату $\alpha$ , °
			ширина $B_k$ , мм	глибина врізу, мм	зазор, мм	висота, мм	ширина, мм	площа, мм <sup>2</sup>				номінальний	катаючий			
Чистові	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	9	Квадрат	34	14,4	5,2	34	34	560	1,4	5,0	7,0	380	369	218	4,6	10
	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	11	Здвоєний квадрат	48,9	9	2	20	48,9	400	1,4	14,0	7,8	380	370	304	5,6	11
	12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	13	Розділовий овал	26,4	6,4	1	13,8	26,4	143×2	1,4	4,2	-	380	365	431	8,2	11,5
	14	Передчистовий овал	16,1	4	1	9	16,1	102,05	1,4	2,3	3,2	380	365	539	11,5	12
	15	Чистовий арматурний	10,5	4,23	1,5	10	10,5	78,5	1,3	1	6,1	380	374	766	15	14

Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

КНУ РБ.136.26.113с-09.02.РУТВА

## 2.4 Визначення енергосилових параметрів

При прокатуванні у першій прокатній кліті, яка має ящиківий калібр, відбувається обтиснення матеріалу сталі 35ГС.

Така сталь має базисне значення напруження про обтисненні:  $\sigma_{т.о.} = 86$  МПа.

Не величину енергосилових параметрів впливають термомеханічні коефіцієнти, що визначаються впливом температури, ступенем обтиснення, швидкістю деформації.

Коефіцієнт впливу температури дорівнює:

$$K_t = 0,57 + 0,0045(1200 - 1180) \sqrt{\frac{1200 - 1180}{1180}} = 0,582.$$

Коефіцієнт впливу ступеню деформації дорівнює:

$$K_\varepsilon = 0,82 + 0,082\sqrt{21} = 1,20.$$

Коефіцієнт впливу швидкості деформації дорівнює:

$$K_v = 0,8 + 0,065\sqrt{1,20} = 0,871.$$

Середнє значення напруження текучості прийме значення:

$$\sigma_{т.с.} = \sigma_{т.о.} \cdot K_t \cdot K_\varepsilon \cdot K_v = 86 \cdot 0,582 \cdot 1,20 \cdot 0,871 = 56,0 \text{ МПа}$$

Коефіцієнт підпору, що виникає при прокатуванні визначається за формулою:

$$Pr = \left(1 - \frac{l}{hc}\right) + \frac{0,55}{\sqrt{e/hc}} + 0,5\left(\frac{l}{hc}\right)^3. \quad (2.18)$$

Після підстановки відповідних значень, отримаємо:

$$Pr = (1 - 0,72) + \frac{0,55}{0,72} + 0,5(0,72)^3 = 1,115.$$

Середній питомий тиск, що діє вертикально при прокатуванні в калібрі дорівнює:

$$P_\sigma = \sigma_{т.з.} \cdot n_p = 56,0 \cdot 1,115 = 59,71 \text{ МПа.}$$

Середній питомий тиск, який діє на бічну поверхню калібру дорівнює:

$$P_\sigma = P_\sigma [0,006 \cdot \varepsilon + 0,11(1 + Z)^2 + 0,228]. \quad (2.19)$$

					КНУ.РБ.136.26.113с-09.02.РУТВА	Аркуш
						2.23
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Де бічна проекція буде дорівнювати:

$$Z = \frac{\epsilon_0 - \epsilon_k}{0,02 \cdot h_p \cdot \phi} = \frac{90 - 85}{0,02 \cdot 18 \cdot 17} = 0,817.$$

Після підстановки отриманих значень бучний тиск:

$$P_{\sigma} = 52,1 [0,006 \cdot 16,2 + 0,11 \cdot (1 + 0,817)^2 + 0,228] = 35,7 \text{ МПа}$$

Горизонтальна проекція бічної поверхні:

$$F_{\sigma} = 0,02 \cdot h_p \cdot \phi (0,84 \frac{h_z}{h_p} - 0,18) \sqrt{R \cdot \Delta h}. \quad (2.20)$$

Підставив відповідні значення, отримаємо:

$$F_{\sigma} = 0,02 \cdot 18 \cdot 28 (0,84 \cdot 0,667 - 0,18) 48,7 = 113,1 \text{ мм}^2.$$

Відношення висот в калібрі визначається за формулою:

$$\frac{h_z}{h_p} = 5 \left( \frac{\epsilon_0}{\epsilon_k} - 1 \right) + 0,0325 \cdot \epsilon - 0,027 \cdot \phi + 0,305. \quad (2.21)$$

Після підстановки відповідних значень, отримаємо:

$$\frac{h_z}{h_p} = 5 \left( \frac{95}{85} - 1 \right) + 0,0325 \cdot 16,2 - 0,027 \cdot 17 + 0,305 = 0,667.$$

Повний тиск металу на валок при обтисненні:

$$P = P_B \cdot F + P_{\sigma} \cdot F_{\sigma} = 52,1 \cdot 4378 + 35,7 \cdot 113,1 = 253,8 \text{ кН.}$$

Момент, необхідний для деформації матеріалу при прокатуванні:

$$M_{np} = 2 \cdot P \cdot \Psi \sqrt{R \cdot \Delta h} = 2 \cdot 253,8 \cdot 0,59 \cdot 48,7 = 15,7 \text{ кН} \cdot \text{м.}$$

Енергосилові параметри при прокатуванні в другій кліті, яка розташована горизонтально і має ящиківий калібр.

Визначаємо термомеханічні коефіцієнти.

Коефіцієнт впливу температури дорівнює:

$$K_t = 0,57 + 0,0045 (1200 - 1150) \sqrt{\frac{1200 - 1150}{1150}} = 0,617.$$

Коефіцієнт впливу степеню деформації:

$$K_{\epsilon} = 0,82 + 0,082 \sqrt{31} = 1,277.$$

Коефіцієнт впливу швидкості деформації:

$$K_u = 0,8 + 0,065 \sqrt{2,19} = 0,896.$$

					КНУ.РБ.136.26.113с-09.02.РУТВА	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		2.24

Середнє значення напруження текучості матеріалу:

$$\sigma_{Т.с.} = 86 \cdot 0,617 \cdot 1,277 \cdot 0,896 = 62,0 \text{ МПа.}$$

Параметр відношення довжини осередку деформації до середньої висоти дорівнює:

$$\frac{l}{hc} = \frac{2\sqrt{R\Delta h}}{h_0+h_1} = \frac{2\cdot\sqrt{182\cdot 18}}{64+46} = 1,05.$$

Коефіцієнт підпору дорівнює:

$$P_p = 1+0,3(0,5+0,34\cdot 1,64) = 1,3.$$

Середній контактний тиск, що діє вертикально дорівнює:

$$P_B = \sigma_{Т.с.} \cdot P_p = 62 \cdot 1,309 = 81,16 \text{ МПа.}$$

Величина проєкції на бічну поверхню дорівнює:

$$Z = \frac{\varepsilon_0 - \varepsilon_K}{0,02 \cdot \phi \cdot P_p} = \frac{95 - 93}{0,02 \cdot 18 \cdot 20} = 0,278.$$

Середній контактний тиск, що діє на бічну поверхню:

$$P_{\sigma} = 70,8[0,006 + 29,10,11(1 + 0,278) + 0,228] = 38,7 \text{ МПа.}$$

Горизонтальна проєкція контактної площі по дну калібру дорівнює:

$$F_K = v_K \sqrt{R \cdot \Delta h} = 95 \cdot \sqrt{182 \times 18} = 5682 \text{ мм}^2.$$

Горизонтальна проєкція бічної поверхні дорівнює при відношенні висот:

$$\frac{h_3}{h_p} = 5\left(\frac{\varepsilon_0}{\varepsilon_K} - 1\right) + 0,0325 \cdot \varepsilon - 0,027 \cdot \phi + 0,305 = 0,925;$$

$$F_{\sigma} = 0,02 \cdot 18 \cdot 20(0,84 \cdot 0,925 - 0,18) \cdot \sqrt{183,5 \cdot 19,5} = 257 \text{ мм}^2.$$

Повний тиск металу на валки при обтисненні дорівнює:

$$P = P_B \cdot F + P_{\sigma} \cdot F_{\sigma} = 70,8 \cdot 5682,0 + 38,0 \cdot 257 = 310,0 \text{ кН.}$$

Момент, що необхідний для деформації матеріалу дорівнює:

$$M_{пр} = 2 \cdot P + \sqrt{R\Delta h} = 2 \cdot 310 + 0,5\sqrt{0,18 \cdot 0,018} = 23,5 \text{ кН}\cdot\text{м.}$$

Енергосилові параметри в третій прокатній клітї: кліть розташовано горизонтально і вона має ящиківі калібри квадратної форми.

Дані для розрахунку

Температура прокатування в третій клітї дорівнює:  $t = 1120^0 \text{ С.}$

Випуск калібру дорівнює:  $\phi = 16\%$ .

					КНУ.РБ.136.26.113с-09.02.РУТВА	Аркуш
						2.25
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Термомеханічні коефіцієнти, які діють в третій прокатній кліті дорівнюють:

- коефіцієнт впливу температури:

$$K_t = 0,57 + 0,0045(1200 - 1120) \sqrt{\frac{1200-1120}{1120}} = 0,666;$$

- коефіцієнт впливу ступеню деформації:

$$K_\varepsilon = 0,82 + 0,082\sqrt{38} = 1,325;$$

- коефіцієнт впливу швидкості деформації:

$$K_u = 0,8 + 0,065\sqrt{1,325} = 0,904.$$

Середнє значення напруження текучості в третій прокатній кліті дорівнює:

$$\sigma_{\text{т.с.}} = \sigma_{\text{т.о.}} \cdot K_t \cdot K_\varepsilon \cdot K_u = 86 \cdot 0,666 \cdot 1,325 \cdot 0,904 = 70,0 \text{ МПа.}$$

Відношення довжини осередку деформації до середньої висоти смуги дорівнює:

$$\frac{l}{hc} = \frac{2\sqrt{R\Delta h}}{h_0+h_1} = 1,116.$$

Коефіцієнт підпору у випадку відношення довжини осередку деформації до середньої висоти більше одиниці:  $\frac{l}{hc} > 1$ , буде мати значення:

$$Pr = 1 + fc(0,5 + 0,34 \frac{l}{hc} \sqrt{\frac{l}{hc}}) = 1 + 0,29(0,5 + 0,34 \cdot 1,116\sqrt{1,116}) = 1,40.$$

Середній питомий тиск, що діє вертикально дорівнює:

$$P_v = 70,0 \cdot 1,4 = 98,0 \text{ МПа.}$$

Середній питомий тиск, що діє на бічну поверхню калібру:

$$Z = \frac{\varepsilon_0 - \varepsilon_k}{0,02 \cdot \phi \cdot h_p} = 0,277.$$

$$P_\phi = 79,8[0,006 \cdot 40,8 + 0,11(1 + 0,277)^2 + 0,228] = 42,0 \text{ МПа.}$$

Горизонтальна проєкція площі контакту по дну калібру дорівнює:

$$F_k = \varepsilon_k \sqrt{R \cdot \Delta h} = 62 \sqrt{179,5} \cdot 38 = 5120 \text{ мм}^2.$$

Горизонтальна проєкція бічної поверхні дорівнює:

$$F_\phi = 0,02 \cdot 22,5 \cdot 16(0,84 \cdot 1,365 - 0,18) \sqrt{179,5} \cdot 38 = 570,0 \text{ мм}^2.$$

					КНУ.РБ.136.26.113с-09.02.РУТВА	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		2.26

Повний тиск металу на прокатні валки дорівнює:

$$P = 79,7 \cdot 5120 + 42,0 \cdot 570 = 431,0 \text{ кН.}$$

Момент, необхідний для деформації при прокатуванні дорівнює:

$$M_{\text{пр}} = 2 \cdot 431,0 \cdot 0,5 \sqrt{0,1795 \cdot 0,038} = 24,9 \text{ кН}\cdot\text{м.}$$

Результати розрахунку заносимо в табл. 2.3, де наведено витрати енергії при прокатуванні в усіх прокатних клітках.

Розрахунки показали, що найбільш навантажена є шоста прокатна кліть, на яку діють найбільш великі сили та моменти прокатування, через що потрібно такій клітці приділяти підвищену увагу з міцності.

					КНУ.РБ.136.26.113с-09.02.РУТВА	Аркуш
						2.27
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.3 – Енергосилові параметри прокатки арматурної сталі № 10

№ кліті	Форма калібру	Температура, °С	U с <sup>-1</sup>	Термомеханічні коефіцієнти			$\sigma_{m.c.}$ , МПа	$f$	Пр	Р <sub>в</sub> , МПа	Р, кН		M <sub>пр</sub> , кН·м
				Kt	Kε	Ku					розрахунок	пр-т на 2 нитк	
1	Ящикований	1180	1,2	0,582	1,200	0,87	56,0	0,25	1,115	59,7	253,8	1100	15,7
2	Ящикований	1155	2,19	0,617	1,277	0,89	62,0	0,26	1,31	81,16	310	1100	23,5
3	Квадрат	1130	2,59	0,666	1,325	0,90	70,0	0,26	1,40	98,0	431,0	1100	24,9
4	Глабка бочка	1095	5,62	0,720	1,00	0,95	84,0	0,27	1,40	117,6	321,0	1100	20,5
5	р/овал	1070	6,84	0,774	1,280	0,97	88,4	0,26	1,36	120,1	233,9	1100	11,4
6	Овал	1060	13,55	0,799	1,300	1,04	95,0	0,26	1,46	138,9	460	1100	27,5
7	р/овал	1060	15,84	0,799	1,305	1,06	98,0	0,25	1,42	138,6	350	800	7,8
9	Квадрат	1070	36,6	0,774	1,230	1,193	100,0	0,26	1,36	136,0	263,2	600	11,2
11	Здвоєний квадрат	1076	68	0,759	1,270	1,34	113,3	0,21	1,40	158,6	176,9	600	9,1
13	Розділовий р/овал	1082	112,7	0,745	1,490	1,45	142,3	0,19	1,13	161,4	314,5	600	12,65
14	Передчисловий	1000	18,33	0,732	0,900	1,08	62,8	0,16	0,94	59,35	12,27	600	7,8
15	Калібр. для арм.	900	154,3	0,706	1,372	1,61	137,3	0,13	1,38	189,3	183,8	600	7,6

КНУ.РБ.136.26.113с-09.02.РУТВА

Вим.

Арк.

№ докум.

Підпис

Дата

Архив

2.28

## ВИСНОВКИ

В роботі розглянуто загальну характеристику арматури, де було визначено її конструктивні особливості, з'ясовано, що вона має особливий рифлений профіль, що потрібно враховувати при її виготовленні.

Розглянуто призначення арматури і виявлено, що вона має широкий спектр застосування, де до неї пред'являють високі вимоги до міцності та зносостійкості. Це дозволило обрати матеріал для її виготовлення де надано перевагу легованої сталі 35ГС через високу міцність та надійність, відмінну адгезію, добре зчеплення з бетоном, можливість зварювання, що спрощує її монтаж, має підвищену стійкість при дії в агресивних середовищах, що подовжує термін дії конструкцій.

Визначено початковий матеріал та основні операції, що дозволить отримати якісну продукцію. В якості початкового матеріалу надано перевагу безперервно-литій заготовці 80×80 мм, що забезпечить високу продуктивність процесу і якісну внутрішню структуру виробу.

Визначено обладнання, що забезпечить отримання арматури № 10 прокаткою-розділенням, яке дозволить отримати якісний профіль з максимальною продуктивністю процесу. В якості такого обладнання обрано безперервний дрібносортовий прокатний стан ДС-250.

Розроблено калібрування прокатних валків для виготовлення арматури прокаткою-розділенням, що забезпечує високу точність профілю при високій продуктивності обробки. Визначено форму чистових та передчистових калібрів, що забезпечують високу точність профілю. Визначено способи розділення прокату в потоці прокатного стану, що забезпечує високу продуктивність процесу.

Визначено сили та моменти прокатування, що дозволяє оцінити енерговитрати на процес.

					КНУ.РБ.136.26.113с-09.В					
Вим.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата	ВИСНОВКИ					
Розробив	Руденко							Літ.	Аркуш	Аркушів
Перевірив	Чубенко								1	1
Рецензент								Кафедра МЧМЛВ гр. МТ-22-2		
Н. контр.	Чубенко									
Затвердив	Бабошко									

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Чубенко В.А., Хіноцька А.А. Технологія прокатного виробництва: навчальний посібник. Кривий Ріг: Видавець ФОП Чернявський Д.О., 2017. 170 с
2. Василев Я.Д., Мінаєв О.А. Теорія поздовжньої прокатки: підручник. Донецьк: УНІТЕХ, 2009. 488 с.
3. ВД «Академперіодика» НАН України. Приклади оформлення використаних джерел відповідно до Національного стандарту України ДСТУ 8302:2015. Бібліографічне посилання. Загальні положення та правила складання. Київ, 2016. 16 с. (Інформація та документація).
4. Національний стандарт України. Інформація та документація. Бібліографічне посилання. Загальні положення та правила складання. ДСТУ 8302:2015.
5. ДСТУ 3008:2015 «Інформація та документація. Звіти у сфері науки і техніки. Структура та правила оформлювання». Київ: УкрНДНЦ, 2016. 31 с.
6. Літовченко П.І., Іванова Л.П. Технологія конструкційних матеріалів: навчальний посібник. Харків: НА НГУ, 2016. 306 с.
7. Бережний М.М., Чубенко В.А. Основи проектування технологічних ліній та комплексів металургійних цехів: монографія. Кривий Ріг: Видавничий дім, 2010. 444 с.
8. Данченко В.М., Гринкевич В.О., Головка О.М. Теорія процесів обробки металів тиском: підручник. Дніпропетровськ: Пороги, 2008. 370 с.
9. Чубенко В.А., Хіноцька А.А. Технологія процесів обробки металів тиском: навчальний посібник. Кривий Ріг: Видавець Чернявський Д.О., 2020. 208 с.
10. Хорольський Д.Ю. Довідник з металопрокату. Харків: Металіка, 2007. 530 с.

					КНУ.РБ.136.26.113с-09.Л					
Вим.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата	ЛІТЕРАТУРА					
Розробив	Руденко							Літ.	Аркуш	Аркушів
Перевірив	Чубенко								1	2
Рецензент								Кафедра МЧМЛВ гр. МТ-22-2		
Н. контр.	Чубенко									
Затвердив	Бабошко									

11. Максименко О.П., Лясота С.М., Романюк Р.Я. Теорія процесів прокатного, трубного, ковальсько-штампувального та волочильного виробництв: навчальний посібник. Дніпродзержинськ: ДДТУ, 2009. 207 с.

12. Бережний М.М. М.М., Чубенко В.А., Хіноцька А.А. Енергетичний баланс та реологічні властивості осередку деформації при прокатуванні штаби гладкими валками: монографія. Кривий Ріг: Діонат, 2011. 120 с.

13. Чубенко В.А., Хіноцька А.А. Дослідження об'ємноструктурних і енергетичних перетворень в сталях при прокатуванні: монографія. Кривий Ріг: Діонат, 2018. 178 с.

14. Бережний М.М., Чубенко В.А., Хіноцька А.А., Глінкин А.В. Час перебування металу в осередку деформації та утворення нової поверхні. *Вісник КНУ*. Кривий Ріг, 2012. Вип. 30. С. 171-174.

15. Бережний М.М., Чубенко В.А., Хіноцька А.А. Енергетичний баланс осередку деформації при прокатуванні. // *Ресурсозберігаючі технології виробництва та обробки тиском матеріалів у машинобудуванні*: зб. наук. пр. Луганськ: СНУ ім. В.Даля, 2012. С. 60-67.

16. Конспект лекцій з дисципліни «Арматура для залізобетонних конструкцій» для студентів за напрямом підготовки 6.060101 «Будівництво» професійного спрямування «Технологія будівельних конструкцій, виробів і матеріалів» денної та заочної форм навчання / укл. О.В. Безусяк, Н.В. Лушнікова. Рівне: НУВГП, 2012. 76 с.

17. Колотила Д.М., Соколовський А.Т. Технологічні процеси галузей промисловості: навчальний посібник. Київ: КНЕУ, 2008. 372 с.

18. Смирнов В.О., Білецький В.С. Фізичні та хімічні основи виробництва: навчальний посібник. Донецьк: Східний видавничий дім, 2005.

19. Попович В.В. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство: [підручник для студ. вищ. навч. закл.]. Львів: Світ, 2006. 624 с.

					КНУ.РБ.136.26.113с-09.Л	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		2