

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: «РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ
ШЕСТИКУТНОЇ СТАЛІ ПОПЕРЕЧНИМ РОЗМІРОМ 26 мм
З БЕЗПЕРЕРВНО-ЛИТОЇ ЗАГОТОВКИ»**

Виконав:

студентка групи МТ-23-1ск _____ Людмила КУЗЬМЕНКО

Керівник випускної роботи _____ Вікторія ЧУБЕНКО

Нормоконтролер _____ Вікторія ЧУБЕНКО

Т.в.о. завідувача кафедри _____ Дмитро БАБОШКО

Кривий Ріг
2026 р.

КРИВОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет: гірничо-металургійний

Кафедра металургії чорних металів і ливарного виробництва

Освітньо-кваліфікаційний рівень: бакалавр

Спеціальність: 136 Металургія

Затверджую

Зав. кафедрою _____

« ____ » _____ 2026 р.

ЗАВДАННЯ

на випускну атестаційну роботу бакалавра

Кузьменко Людмила Петрівна

1. Тема роботи: Розробка технології виготовлення шестикутної сталі поперечним розміром 26 мм з безперервно-ливої заготовки

керівник роботи: к.т.н., доцент Чубенко Вікторія Анатоліївна

затверджено наказом по КНУ від « 19 » 02 2026 р. № 112с

2. Строк подання роботи студентом « 01 » 06 2026 р.

3. Вихідні дані до роботи: прокатний стан ДС 250; хімічний склад та механічні властивості сталі 40Х; початковий розмір заготовки 80×80 мм, довжину 12 м, масу 600 кг; температура нагріву 1200 °С; термічна обробка: загартування при температурі 860 °С, відпущення при температурі 500 °С.

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

1. Призначення шестикутної сталі та аналіз способів її виробництва: загальна характеристика; класифікація; способи виготовлення; обладнання для прокатування.

2. Технологічний процес виготовлення шестикутної сталі поперечним розміром 26 мм з безперервно-ливої заготовки: технологічний операції; калібрування кутового профілю; визначення швидкісного режиму прокатування; розрахунок продуктивності стану; розрахунок енергосилових параметрів для виготовлення шестикутника розміром вписаного кола 26 мм.

5. Перелік графічного матеріалу

Загальний вигляд шестикутного профілю. Хімічний склад та механічні властивості сталі 40Х. План розташування обладнання прокатного стану ДС 250. Технологічні операції. Калібрування шестикутника розміром 26 мм. Енергосилові параметри прокатування шестикутника.

РЕФЕРАТ

до випускної кваліфікаційної роботи на тему:

«Розробка технології виготовлення шестикутної сталі поперечним розміром 26 мм з безперервно-ливої заготовки»

Пояснювальна записка: 55 стор., 3 табл., 8 рис., 24 літературних джерела.

Об'єкт дослідження: виробництво сортової сталі.

Предмет дослідження: технологія виготовлення шестикутної сталі з безперервно-ливої заготовки.

Мета роботи: розробити удосконалену технологію виробництва шестикутника поперечним розміром 26 мм з безперервно-ливої заготовки.

Методи дослідження: використовувалися аналітичні та розрахункові методи, виконано аналіз виробництва сортової сталі, визначення режимів обтиснень та схеми калібрувань, витрати зусиль та енергії при прокатуванні шестикутника з безперервно-ливої заготовки.

Результати роботи: виявлено можливі методи виробництва сталевих шестигранників, визначено обладнання, що забезпечує виготовлення сталевих шестикутників, розроблено технологію виготовлення шестикутника з безперервно-ливої заготовки, виявлено та побудовано схему калібрувань, що забезпечує виготовлення якісного виробу, визначено швидкість обробки, кількість проходів.

ШЕСТИКУТНИК СТАЛЕВИЙ, КАЛІБРУВАННЯ, ОБТИСНЕННЯ,
ПРОКАТНИЙ ВАЛОК, БЕЗПЕРЕРВНА РОЗЛИВКА СТАЛІ.

					КНУРБ.136.26.112с-06.Р					
Вим.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата	РЕФЕРАТ					
Розробив	Кузьменко							Літ.	Аркуш	Аркушів
Перевірив	Чубенко								1	1
Рецензент								Кафедра МЧМЛВ гр. МТ-23-1ск		
Н. контр.	Чубенко									
Затвердив	Бабошко									

ВІДОМІСТЬ МАТЕРІАЛІВ

№ строки	Формат	Обозначение	Наименование	Кол. листов	№ экз.	Примечание																															
1																																					
2	A4	КНУ.РБ.136.26.112с-06.ПЗ	Пояснювальна записка	55																																	
3																																					
4			<u>Графічна частина</u>																																		
5			(Презентація)																																		
6	A4	КНУ.РБ.136.26.112с-06.01	Загальний вигляд																																		
7			шестикутного профілю	1																																	
8	A4	КНУ.РБ.136.26.112с-06.02	Матеріал для виготовлення																																		
9			шестикутного профілю	1																																	
10	A4	КНУ.РБ.136.26.112с-06.03	План розташування обладнання																																		
11			прокатного стану ДС 250	1																																	
12	A4	КНУ.РБ.136.26.112с-06.04	Технологічні операції з																																		
13			виготовлення шестикутної сталі	1																																	
14	A4	КНУ.РБ.136.26.112с-06.05	Калібрування прокатних валків	1																																	
15	A4	КНУ.РБ.136.26.112с-14.06	Енергосилові параметри																																		
16			прокатування шестикутника	1																																	
17																																					
18																																					
19																																					
20																																					
21																																					
22																																					
23																																					
24																																					
<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: flex-start;"> <div style="width: 45%;"> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">Изм.</td> <td style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">Лист</td> <td style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">№ докум.</td> <td style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">Подп.</td> <td style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">Дата</td> </tr> <tr> <td>Разрад.</td> <td>Кузьменко</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Проб.</td> <td>Чуденко</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Н.контр.</td> <td>Чуденко</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Утв.</td> <td>Бабашко</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table> </div> <div style="width: 50%; text-align: center;"> <h3 style="margin: 0;">КНУ.РБ.136.26.112с-06.В0</h3> <p style="margin: 5px 0;">Відомість об'єму матеріалів кваліфікаційної роботи Чертеж общего вида</p> </div> <div style="width: 20%; text-align: right;"> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">Лит.</td> <td style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">Лист</td> <td style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">Листов</td> </tr> <tr> <td>р д </td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> </table> <p style="margin: 5px 0;">кафедра МЧМ/В група МТ-23-1ск</p> </div> </div>							Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Разрад.	Кузьменко				Проб.	Чуденко				Н.контр.	Чуденко				Утв.	Бабашко				Лит.	Лист	Листов	р д	1	1
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата																																	
Разрад.	Кузьменко																																				
Проб.	Чуденко																																				
Н.контр.	Чуденко																																				
Утв.	Бабашко																																				
Лит.	Лист	Листов																																			
р д	1	1																																			
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> Копировал Формат А4 </div>																																					

ЗМІСТ

	Стор.
РЕФЕРАТ.....	4
ВІДОМІСТЬ МАТЕРІАЛІВ.....	5
ВСТУП.....	7
1 ПРИЗНАЧЕННЯ ШЕСТИКУТНОЇ СТАЛІ ТА АНАЛІЗ СПОСОБІВ ЇЇ ВИРОБНИЦТВА.....	9
1.1 Загальна характеристику шестикутної сталі.....	9
1.1.1 Класифікація шестикутної сталі.....	9
1.1.2 Матеріал для виготовлення шестикутної сталі.....	10
1.1.3 Призначення шестикутної сталі.....	11
1.2 Способи виготовлення шестикутника.....	12
1.3 Обладнання для прокатування.....	14
1.4 Висновки до розділу.....	22
2 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС ВИГОТОВЛЕННЯ ШЕСТИКУТНОЇ СТАЛІ ПОПЕРЕЧНИМ РОЗМІРОМ 26 мм З БЕЗПЕРЕРВНО-ЛИТОЇ ЗАГОТОВКИ.....	24
2.1 Загальні технологічні операції з виготовлення шестикутного профілю розміром 26 мм.....	24
2.2 Розрахунок калібрування шестикутної сталі з діаметром вписаного кола 26 мм.....	25
2.3 Визначення швидкісного режиму прокатування.....	35
2.4 Розрахунок продуктивності стану.....	40
2.5 Розрахунок енергосилових параметрів для виготовлення шестикутника розміром вписаного кола 26 мм.....	41
ВИСНОВКИ.....	52
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	53

					КНУРБ.136.26.112с-06.3			
Вим.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата	ЗМІСТ	Літ.	Аркуш	Аркушів
Розробив	Кузьменко						1	1
Перевірив	Чубенко							
Рецензент								
Н. контр.	Чубенко					Кафедра МЧМЛВ гр. МТ-23-1ск		
Затвердив	Бабошко							

ВСТУП

Металургійна промисловість займається отриманням чавуну, сталей та сплавів з яких виготовляють безліч металовиробів для народного господарства.

Останнім часом для отримання початкових матеріалів для виготовлення профілів використовують безперервно-литі заготовки, які отримують на машинах безперервної розливки сталі. Такі заготовки мають більш якісну структуру, менші витрати на обрізь, мінімальну кількість браку. Така технологія дозволяє зменшити кількість обтискового обладнання, а, відповідно, і виробничу площу.

Одним з дуже затребуваних металовиробів є шестигранна сталь розміром вписаного кола 26 мм. Тому розробити технологію виготовлення шестикутника з безперервно-ливої заготовки є задача актуальна, яка дає змогу отримати якісний профіль при мінімальних витратах.

Мета роботи: розробити удосконалену технологію виробництва шестикутника поперечним розміром 26 мм з безперервно-ливої заготовки.

Для досягнення мети потрібно вирішити наступні задачі:

- проаналізувати призначення шестигранного профілю, що має розмір вписаного кола 26 мм та визначити матеріал для його виготовлення;
- проаналізувати способи виготовлення шестигранної сталі та визначити раціональний;
- визначити обладнання для виготовлення сталевих шестигранників;
- визначити основні технологічні операції для отримання шестигранного профілю;
- визначити початковий матеріал для отримання шестигранного профілю, що має діаметр вписаного кола 26 мм;

					КНУ.РБ.136.26.112с-06.ВС					
Вим.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата	ВСТУП					
Розробив	Кузьменко							Літ.	Аркуш	Аркушів
Перевірив	Чубенко								1	1
Рецензент								Кафедра МЧМЛВ гр. МТ-23-1ск		
Н. контр.	Чубенко									
Затвердив	Бабошко									

- визначити температурний режим гарячого прокатування шестигранного профілю;
- розрахувати калібрування прокатних валків для отримання вірного профілю;
- визначити швидкісний режим для забезпечення безперервності процесу прокатування на безперервному прокатному стані;
- визначити витрати енергії на процес.

					КНУ.РБ.136.26.112с-06.ВС	Аркуш
						2
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1 ПРИЗНАЧЕННЯ ШЕСТИКУТНОЇ СТАЛІ ТА АНАЛІЗ СПОСОБІВ ЇЇ ВИРОБНИЦТВА

1.1 Загальна характеристику шестикутної сталі

1.1.1 Класифікація шестикутної сталі

Шестикутником вважається геометрична фігура, що має шість кутів і, відповідно, шість сторін (рис. 1.1).



Рисунок 1.1 – Загальний вигляд шестикутника

Шестикутники класифікуються за декількома ознаками:

- за призначенням;
- за хімічним складом;
- за способом подальшої обробки;
- за якістю обробленої поверхні;
- за станом матеріалу;
- за точністю виготовлення.

					КНУРБ.136.26.112с-06.01.ПШСАСВ					
Вим.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата	ПРИЗНАЧЕННЯ ШЕСТИКУТНОЇ СТАЛІ ТА АНАЛІЗ СПОСОБІВ ЇЇ ВИРОБНИЦТВА					
Розробив	Кузьменко							Літ.	Аркуш	Аркушів
Перевірив	Чубенко								1.1	15
Рецензент								Кафедра МЧМЛВ гр. МТ-23-1ск		
Н. контр.	Чубенко									
Затвердив	Бабошко									

За призначенням в залежності від масової частки хрому, нікелю та міді класифікується на:

- продукцію усіх видів;
- продукцію тих видів, технологія виготовлення яких передбачає багаторазові нагрівання, що створює можливість підвищеної графітизації сталі;
- продукцію, що має підвищену прокалюємість.

За хімічним складом шестикутники бувають якісні та високоякісні.

За способом подальшої обробки бувають: для холодного волочіння; для подальшої механічної обробки.

Якість обробленої поверхні визначається її шорсткістю.

За станом матеріалу буває :

- без термічної обробки;
- з термічною обробкою;
- загартовані.

За точністю виготовлення: підвищеної точності (Б) та звичайної точності (В).

1.1.2 Матеріал для виготовлення шестикутної сталі

Шестикутна вуглецева сталь має добру пластичність, легко піддається зварюванню, при цьому забезпечує надійний зварювальний контакт через те, що має велику площу контакту, що робить конструкцію доволі міцною.

Шестикутник розміром 26 мм виготовляється зі сталі 40Х. Це конструкційна легована сталь, що має вміст вуглецю 0,4 % та добавки хрому, молібдену та марганцю. Такі добавки матеріалу підвищену твердість, міцність, стійкість, через це з такої сталі виготовляють вироби, що мають підвищену міцність. Хімічний склад сталі 40Х наведено в табл. 1.1.

Таблиця 1.1 – Хімічний склад сталі 40Х.

C	Si	Mn	Ni	Cr	Cu	P	S
0,36-0,44	0,17-0,37	0,5-0,8	<0,3	0,8-1,1	<0,3	<0,035	<0,035

					КНУ.РБ.136.26.112с-06.01.ПШСАСВ			Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				1.2

Такий матеріал, як правило, підлягає термічній обробці, після якої він набуває наступні механічні властивості (табл. 1.2).

Таблиця 1.2 – Механічні властивості сталі 40Х

Термічна обробка	σ_T , МПа	σ_B , МПа	Мінімальне подовження, %	Відносне звуження, %
Загартування при температурі 860°С, відпущення при температурі 500° С	785	980	>10	>45

σ_T – межа плинності;

σ_B – тимчасовий опір.

Конструкційну леговану сталь використовують для виготовлення деталей підвищеної міцності, наприклад, для виготовлення осей, плунжерів, кілець, валів, вал-шестерні, шпинделі тощо

1.1.3 Призначення шестикутної сталі

Шестикутник призначено для виготовлення деталей невеликих розмірів, а саме: валів, шатунів, циліндрів, будь яких кріпильних елементів.

Шестикутна сталь широко використовується у багатьох галузях промисловості. В будівельній промисловості її використовують в різних конструкціях, що дозволяє збільшити несучу здатність матеріалу та підвищити міцність конструкції.

У порівнянні з круглою сталлю, площа поперечного перерізу, що має шестикутна сталь, більша при тому ж самому діаметрі. Це дозволяє використовувати шестикутну сталь при зменшеній кількості матеріалу, що здешевлює конструкцію.

Використовують шестикутну сталь при спорудженні балок, колон, каркасів тощо.

Шестикутник знаходить своє застосування в багатьох галузях машинобудування. Широко використовується в автомобілебудуванні при

					КНУ.РБ.136.26.112с-06.01.ПШСАСВ	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		1.3

виробництві шасі автомобілей, каркасів кузова тощо. Широко використовується при виробництві меблів, каркасу ліжка, крісла.

Шестикутник використовується як сировина при виготовленні високоякісних метизних виробів таких як болти, гайки, стійки, шпилько тощо, може використовуватися як початковий матеріал для виготовлення різних металовиробів.

Вироби, що виготовляють з шестигранника наведено на рис. 1.2.

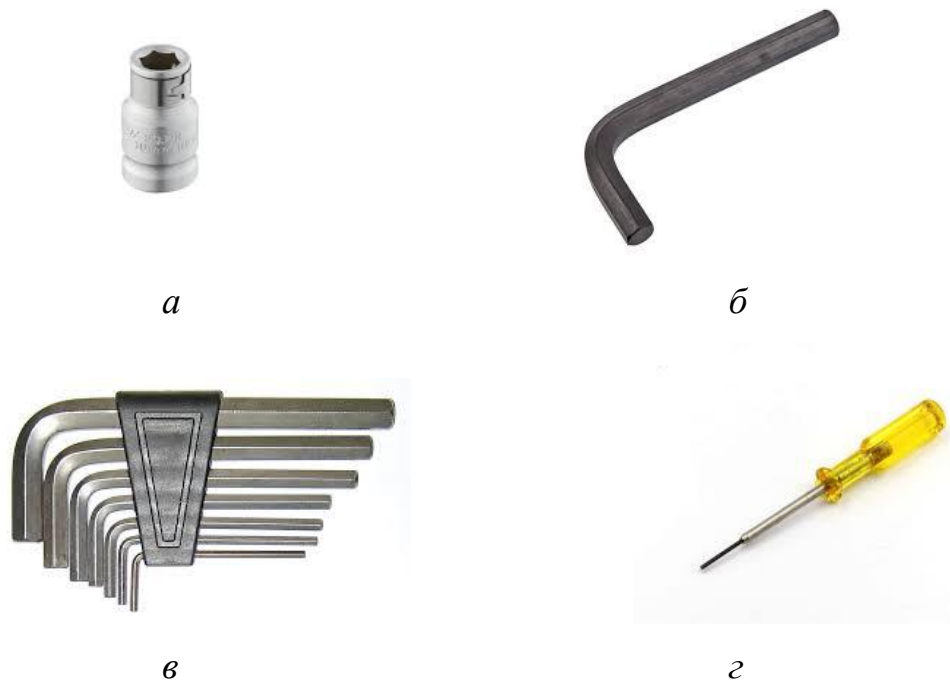


Рисунок 1.2 – Вироби з шестикутника:

a – перехідник; *б* – ключ Г-подібний; *в* – шестигранний шлиць;
г – шестиграна викрутка

1.2 Способи виготовлення шестикутника

Шестикутник уявляє собою пруток, що має шестигранний поперечний переріз. Широко розповсюджений спосіб виготовлення шестикутної сталі – це прокатування. Але можуть бути і інші способи, такі, як калібрування і кування. За стандартом шестикутник може мати діаметр від 8 до 100 мм, довжина може змінюватися в межах від 2 до 6 м.

					КНУ.РБ.136.26.112с-06.01.ПШСАСВ	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		1.4

Проаналізуємо процес виготовлення шестикутної сталі з використанням технології прокатування.

Прокатування – це процес обробки металів тиском, при якому метал втягується у шильну між прокатними валками завдяки силам тертя. Завдяки здатності металів та сплавів до пластичної деформації, при прокатуванні відбувається її обтиснення, внаслідок чого змінюється їх форма і розміри.

Під час обтиснення матеріалу утворюється осередок деформації (рис. 1.3),

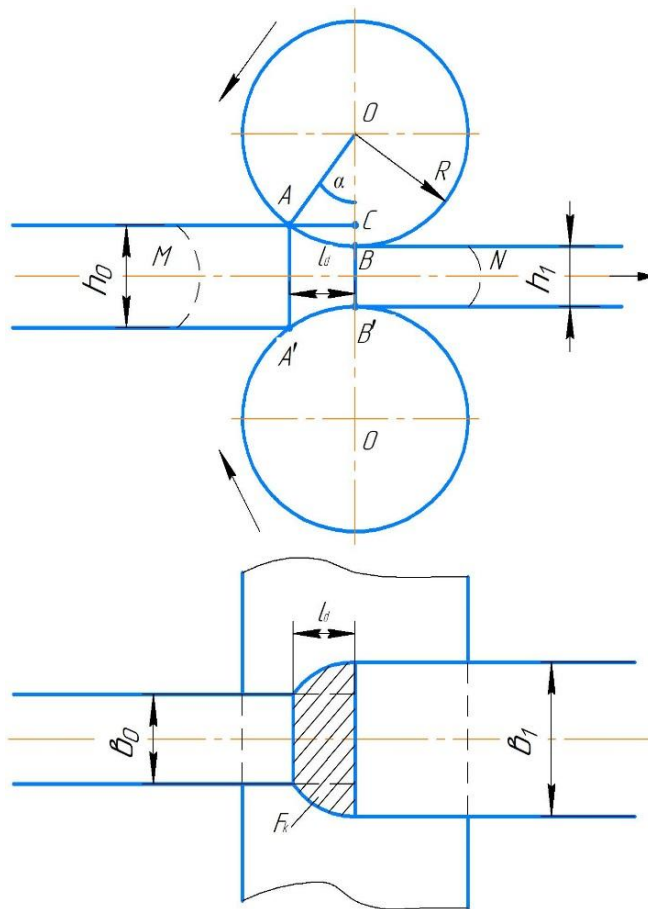


Рисунок 1.3 – Осередок деформації при прокатуванні: h_0 –початкова висота вхідного матеріалу; h_1 – висота матеріалу після проходження в кліті; b_0 –початкова товщина вхідного матеріалу; b_1 –товщина після виходу з прокатних валків; l_d –довжина осередку деформації; F –площа контакту матеріалу з прокатними валками; R – радіус прокатних валків

Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

де і відбуваються усі основні процеси формозмінення: зменшується площа поперечного перерізу початкового матеріалу, при цьому зменшується його висота, збільшується ширина і суттєво збільшується його довжина, тобто утворюється витяжка матеріалу.Прокатуванням виготовляється безліч різноманітних виробів. Усі вироби, що виготовляють прокатуванням умовно поділяють на 4 групи:

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

Шестикутну сталь, що має розміри 26 мм, відносять до сортового прокату.

Увесь сортовий прокат, залежно від поперечних, розмірів поділяють на наступні види:

- крупносортовий прокат, до якого відносять сортові вироби, що мають поперечний розмір більше 100 мм;
- середньосортовий прокат, той, що має поперечні розміри від 40 мм до 100 мм;
- дрібносортовий прокат, до якого відносять прокат, що має поперечні розміри від 10 мм до 40 мм;
- дріб, той прокат, що має розміри в поперечному перерізі до 10 мм.

Нам потрібно розробити технологію виготовлення сортового прокату, що має поперечні розміри 26 мм, який відноситься до дрібносортового прокату.

1.3 Обладнання для прокатування

Процеси прокатування здійснюються на прокатних станах. Прокатний стан – це сукупність машин та механізмів, що забезпечують отримання необхідного профілю завдяки здатності металів до пластичної деформації. Усе обладнання прокатного стану можна поділити на основне та допоміжне (рис. 1.4).

					КНУ.РБ.136.26.112с-06.01.ПШСАСВ	Аркуш
						1.6
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Основне обладнання прокатного стану – це те обладнання, що здійснює пластичну деформацію виробу з результаті чого початковий матеріал отримує потрібну форму та розміри.

Допоміжне обладнання – це те обладнання в якому пластичної деформації не відбувається, але воно забезпечує виконання основних операції та дозволяє отримати необхідний виріб.

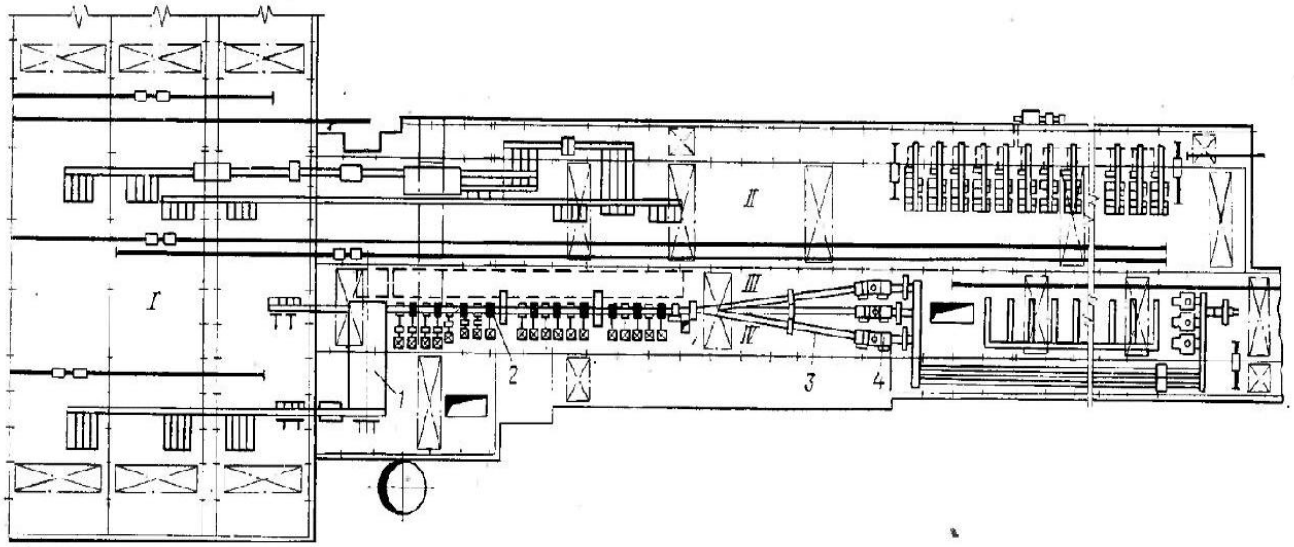


Рисунок 1.4 – План розташування обладнання прокатного стану ДС 250:

I – склад безперервнолитих заготовок; *II* – відділення підготовки вихідних матеріалів; *III* – проліт прокатного стану; *IV* – машинна зала;
1 – нагрівна піч; *2* – робочі кліті прокатного стану; *3* – охолодження прокату; *4* – контрольний стіл

До складу основного обладнання прокатного стану відносять робочі кліті в яких і відбувається пластична деформація, шестеренна кліть, шпинделі і муфти, корінна муфта, головна муфта, моторна муфта, редуктор і двигун.

Робоча кліть прокатного стану (рис. 1.5) у своєму складі має прокатні валки, на які діють великі навантаження під час обробки тиском. Прокатні валки – це головний інструмент прокатного стану (рис. 1.6). Тип прокатного стану визначається діаметром прокатного валка, його довжиною та їх кількістю. До прокатних валків приділяють велику уваги через те, що вони працюють у важких

					КНУ.РБ.136.26.112с-06.01.ПШСАСВ	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		1.7

умовах, на них діють усі основні зусилля, що виникають при прокатуванні, впливають зміни температури та коефіцієнту тертя. Це викликає необхідність у перевірки на міцність прокатних валків.

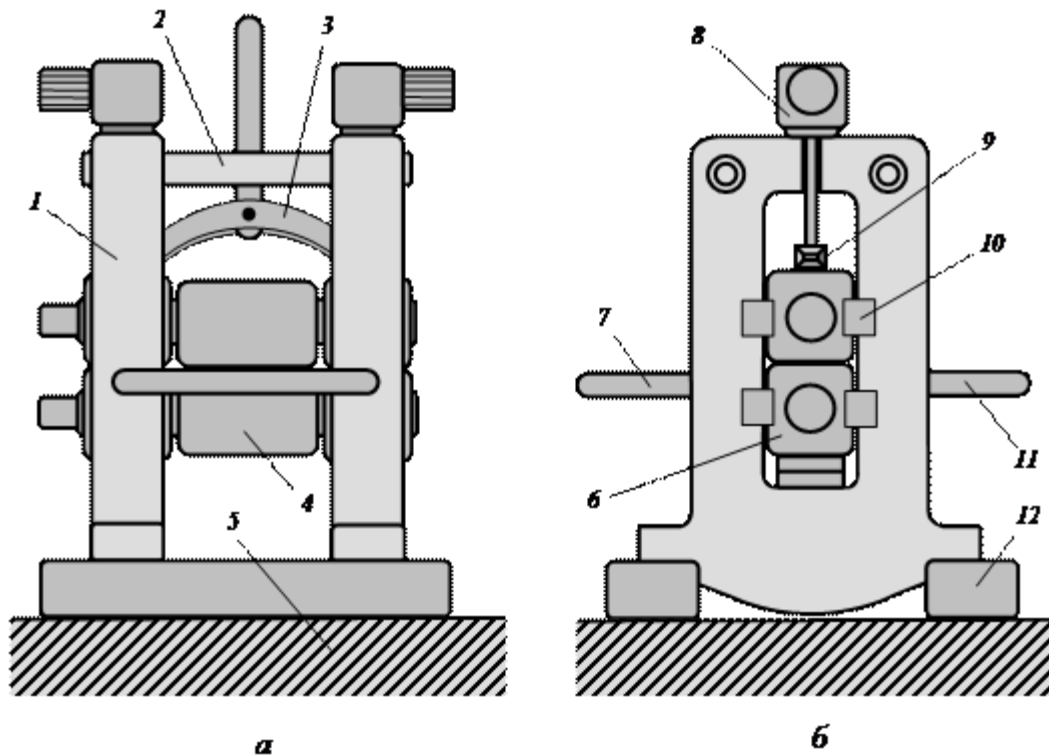


Рисунок 1.5 – Схема робочої кліті прокатного стану: *a* – вигляд з переду; *б* – вигляд збоку; *1* – станина; *2* – траверса; *3* – урівноважуваче устаткування; *4* – робочі валки; *5* – фундамент; *6* – подушка; *7, 11* – лінійки; *8* – натискний механізм; *9* – устаткування для запобігання переміщення; *10* – механізм встановлення та фіксації прокатних валків; *12* – щитовина

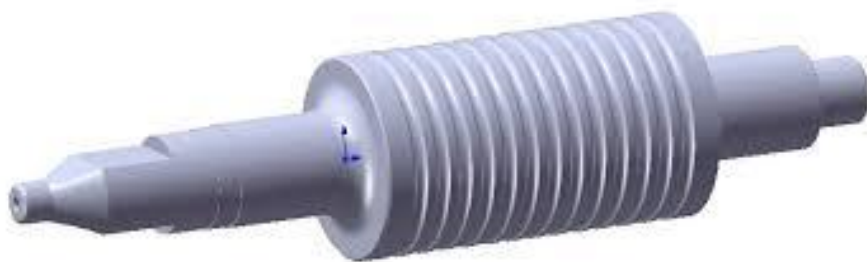


Рисунок 1.6 – Робочий валок прокатного стану

Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Для виготовлення прокатних валків можна використовувати чавун або сталь в залежності від призначення прокатного валка. Для тих прокатних валків, які витримують великі навантаження при роботі та сприймають великі зусилля при обробці, що відбувається при прокатуванні на чорнових проходах, використовують чавун. Вони є недостатньо міцними, але достатньо зносостійкими. Для виготовлення таких прокатних валків використовують леговані та нелеговані чавуни, що мають кулястий, або пластинчастий графіт. Легують чавуни у цьому випадку нікелем та хромом.

А для тих прокатних валків, що повинні забезпечити високу міцність та пластичність, тобто при роботі на чистових проходах використовується сталь. Для виготовлення сталевих прокатних валків використовують вуглецеві, низьколеговані і леговані хромонікелеві сталі марок 9ХФ, 50ХН, 60 ХН, Сталь 50, Сталь 55 тощо.

На шийки прокатних валків надівають підшипники, які служать для передачі зусилля прокатування від валків на станину. Підшипники допомагають утримати робочі валки у необхідному положенні. Для розміщення підшипників використовують спеціальні подушки, що мають вигляд виливків потрібної форми. Подушки служать для передачі зусилля прокатування від прокатних валків до робочої кліти прокатного стану. Для запобігання переміщення подушок у напрямку горизонтальних осей прокатних валків використовують регулюючі затиски та планки, які розташовують у пазах подушки. Для компенсації термічного розширення при роботі прокатних валків, подушки закріплюють тільки з одного боку станини, а інший залишається вільним.

Для точного урегулювання прокатних валків використовують механізми встановлення робочих валків. Такі механізми мають вигляд натискного та врівноважуючого устаткування.

Переміщення робочих валків забезпечується натискним механізмом, який до того ж і врівноважує їх з забезпеченням потрібного зазору між валками. Ці механізми повинні забезпечувати окреме регулювання кожної подушки станини.

					КНУ.РБ.136.26.112с-06.01.ПШСАСВ	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		1.9

У випадку використання тихохідних прокатних станів, де швидкість переміщення не висока, використовують тихохідні натискні механізми. Такі механізми мають привід від електродивигуна через черв'ячні передачі. Останнім часом набувають все ширше розповсюдження гідравлічні та комбіновані натискні пристрою. Їх перевага у тому, що такі пристрої мають невелику інертність та високу точність установки. Такі пристрої здатні сприймати дуже великі зусилля прокатування, що дуже важливо при прокатуванні у чорнових прокатних клітках, коли при обробці задаються великі величини обтиснення.

З метою врівноваження прокатних валків використовують врівноважуючи пристрою. Вони бувають пружинні, вантажні, гідравлічні. Пружинні пристрої використовують у тому випадку, коли маса прокатних валків, які врівноважують, не велика, наприклад, у дротових або сортових прокатних станах. вантажні пристрою використовують для великогабаритних прокатних валків, де здійснюють великі переміщення.

Допоміжне обладнання призначено допомагати виконати основні операції пластичної деформації при прокатування вихідних сталевих матеріалів. Але на цьому обладнанні самої пластичної деформації не відбувається.

Усі допоміжне обладнання прокатного цеху поділяють на дві групи:

- 1) транспортує;
- 2) обробне.

Транспортує обладнання забезпечує безперерійне переміщення матеріалів у цеху, призначено для обслуговування прокатного стану, забезпечує подачу металевих сплавів до робочих клітей прокатного стану, кантування його. До такого обладнання відносять рольганги, зливковози, електричні мостові крани, шлепери, холодильники, підйомно-похитні столи, кантувачі, маніпулятори тощо.

Обробне обладнання служить для обробки, яка пов'язана з правленням для покращення якості матеріалу, нагріванням вихідних матеріалів перед обробкою тиском, його охолодженням після обробки, розрізанням та мірні довжини та для

					КНУ.РБ.136.26.112с-06.01.ПШСАСВ	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		1.10

аварійного розрізання в потоці стану. Для розрізання використовують різні пили та ножиці, для правки розкатів застосовують різні правильні машини, для нагрівання – нагрівне обладнання, для охолодження холодильники.

Зливковози служать для переміщення великогабаритних зливків у цеху чи до прокатного стану.

Рольганги використовують для переміщення матеріалу до робочих валків прокатного обладнання, приймають оброблений матеріал з прокатних валків, переміщують розкати до ножиць та пилок для розрізання, до правильних машин для правки металу тощо. Маса рольгангів досягає 30 % від усієї маси прокатного обладнання, вони мають дуже значну довжину. Рольганги бувають двох типів: робочі та транспортувальні. Робочі рольганги застосовують для направлення вихідного матеріалу у робочі кліті прокатного стану та для приймання цього матеріалу з прокатних валків. Для цього робочі рольганги розташовують безпосередньо у робочій кліті прокатного стану. Інші рольганги, що служать для переміщення матеріалів називають транспортувальними.

Для охолодження матеріалу після прокатування використовують холодильники. Вони вважаються сполученою ланкою між прокатним станом та оброблюваними агрегатами та машинами. Холодильник має питому масу до 50 % від усього обладнання. На холодильнику виконують наступні допоміжні операції: приймання прокатаних матеріалів, його охолодження, передача на відповідний рольганг, транспортування матеріалу до обробних верстатів та машин. Використовують в прокатних цехах роликові або рейкові холодильники. Більш затребуваними є рейкові холодильники. На таких холодильниках матеріал охолоджується на рухомих зубчастих рейках, які утворюють коливально-поступальний рух. Вони мають перевагу в тому, що існує можливість регулювання розкатів під час їх охолодження.

Для переміщення матеріалу, що обробляється, поперек цеху використовують шлепери. Вони забезпечують рух від одного рольгангу до іншого, виконують рух до прибирального карману або у сусідній проліт цеху.

					КНУ.РБ.136.26.112с-06.01.ПШСАСВ	Аркуш
						1.11
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Шлепери можуть бути ланцюгові або канатні. Ланцюгові шлепери переважно використовують під час гарячого прокатування через те, що він має достатньо високу теплостійкість в порівнянні з канатним, що потрібно для транспортування гарячого металу. Такі шлепери добре витримують натяжіння, які виникають під час транспортування, але існує недолік: вони можуть рухатися тільки в один бік, в той час, коли канатні рухаються в обидва боки, що більш зручно в транспортуванні. Це свідчить про те, що канатні шлепери більш маневрені, і вони дуже потрібні у випадку необхідності транспортування в різні боки.

Для пересування оброблюваного матеріалу по роликам рольгангу паралельно з метою подальшого його спрямування у прокатні валки використовують маніпулятори. Вони користуються особливим попитом на обтискних прокатних станах, товстолистових і заготівельних при прокатуванні крупногабаритних виробів.

Для повертання оброблюваного матеріалу навколо своєї осі на деякий кут використовують кантувачі. Вони здатні повертати матеріал на 90°, 45°, 60°, 30° в залежності від призначення.

На листових і сортових тривалкових, на тонколистових двовалкових прокатних станах використовують підйомно-похитні столи. Такі стали встановлюють з обох боків робочої кліти прокатного стану.

Для розрізання готового прокату на мірні довжини використовують ножиці з паралельними ножами. Вони призначені як для гарячого, так і холодного розрізання. Ці ножиці мають як верхній, так і нижній різ. У ножиць, що мають верхній різ, більш проста конструкція. Під час розрізання з метою перешкодження смуги застосовують різні притискаючі механізми, що опускаються на оброблюваний матеріал.

Для розрізання матеріалу в прокатних цехах також використовують ножиці з похилими ножами, які ще мають назву гільйотинних. Вони бувають двох типів: відкритого типу та закритого. Для розрізання смуг та сортового прокату частіше використовують ножиці відкритого типу. Для таких ножиць характерно те, що у

					КНУ.РБ.136.26.112с-06.01.ПШСАСВ	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		1.12

них встановлено короткі ножі і вони мають одну станину з бічним зазором, через який подається оброблюваний метал. Для розрізання сортових профілів існує необхідність в тому, щоб форма ножів співпадала з формою профілю поперечного матеріалу оброблюваного виробу.

У випадку розрізання оброблюваного матеріалу, що рухається на великій швидкості використовують летючі ножиці. Вони мають наступні конструкції: планетарні, маятникові, барабанні, важільно-кривошипні тощо.

Планетарні летючі ножиці використовують для розрізання заготовок та сортових профілів. Швидкість різання в таких ножицях дорівнює 7,0 м/с або 3,1 м/с. Такі ножиці здатні працювати в режимі з пропуском різання.

Для розрізання широких смуг, що мають товщину близько 30 мм, в гарячому стані використовують барабанні летючі ножиці. Їх можна використовувати для гарячого розрізання дрібних сортових профілів та для розрізання холоднокатаних тонких смуг, що мають товщину до 3 мм. Такі ножиці мають визначені рухи за кожним ножем або за групою ножів. Під час розрізання смуга повинна рухатися безперервно та подаватися до ножиць за допомогою подавальних роликів з постійною швидкістю. Розрізання відбувається завдяки зіткненню верхнього та нижнього барабанів ножиць. Ножиці достатньо надійні в експлуатації та прості за конструкцією, швидкість розрізання дорівнює 15 м/с.

Для обрізки кінців смуг і для розрізання широких смуг на вузькі використовують дискові ножиці.

Для розрізання профільних прокатних виробів на мірні довжини використовують дискові пили. Вони виконують достатньо високу якість різання. Усі дискові пили можна поділити на дві групи: для гарячого різання – використовують зубчасті диски, а для холодного розрізання використовують гладкі диски. У тих пилок, що мають гладкі диски, розрізання відбувається через те, що відбувається розплавлення металу під впливом сил тертя, через велику швидкість обертання.

					КНУ.РБ.136.26.112с-06.01.ПШСАСВ	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		1.13

Після прокатування матеріалу виконують його правку, яка полягає у здійсненні вигину розтягненням або прокатуванням з дуже невеликими обтисненнями. Таке правку можна використовувати як в гарячому, так і в холодному стані на роликотправильних машинах. Також для правки використовують горизонтальні і вертикальні преси, що дозволяють виконувати правку в усіх напрямках.

При використанні вертикальних пресів, виріб, після прокатування, встановлюють на двох опорах. Для здійснення самої правки використовують додаткові зусилля, які прикладають по середині між цими опорами.

Після прокатування готові вироби змотують у бунти та рулони в залежності від форми та розмірів.

Для своєчасного уникнення дефектів у прокаті виконують його обробку в потокових лініях.

Для зміцнення матеріалу, покращення його якості та внутрішньої структури, виконують термічну обробку. Для цього використовують агрегати термічної обробки, де здійснюються такі операції, як нормалізація, загартування, покращення, відпущення тощо. Термічна обробка полягає в нагріванні металовиробу до потрібної температури, його витримка при цій температурі деякий час та охолодження, після чого отримується потрібна внутрішня мікроструктура матеріалу та забезпечуються необхідні його властивості.

Для виготовлення шестикутної сталі розмір 26 мм будемо використовувати дрібносортний прокатний стан ДС 250.

1.4 Висновки до розділу

Проаналізовано способи виготовлення шестикутної сталі і надано перевагу гарячому прокатуванню.

Проаналізовано призначення шестикутної сталі та матеріал для її виготовлення і надано перевагу легованої сталі марки 40 X. Визначено його міцносні характеристики.

					КНУ.РБ.136.26.112с-06.01.ПШСАСВ	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		1.14

Проаналізовано обладнання для гарячого прокатування шестикутної сталі розміром 26 мм і надано перевагу дрібносортному прокатному стану.

Для отримання вірного шестикутника потрібно визначити початковий матеріал, послідовність операцій з його виготовлення та розрахувати калібрування прокатних валків, визначити швидкісний режим та витрати енергії на процес.

					КНУ.РБ.136.26.112с-06.01.ПШСАСВ	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		1.15

2 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС ВИГОТОВЛЕННЯ ШЕСТИКУТНОЇ СТАЛІ ПОПЕРЕЧНИМ РОЗМІРОМ 26 мм З БЕЗПЕРЕРВНО-ЛИТОЇ ЗАГОТОВКИ

2.1 Загальні технологічні операції з виготовлення шестикутного профілю розміром 26 мм

Технологія виготовлення шестикутної сталі розміром 26 мм складається з наступних операцій:

1. Ретельне підготування початкового матеріалу, в якості якого в роботі було використано безперервнолиту заготовку з якісної легованої сталі, що має квадратну форму поперечного перерізу розмірами 80×80 мм, довжину 12 м, масу 600 кг. Для цього виконувався її ретельний огляд та зачищення, видалення поверхневих дефектів, контроль номінальних розмірів та їх відхилень, контроль геометричної поверхні.

2. Підготовлену заготовку із завантажувальної решітки за допомогою підводячого рольгангу подавали до нагрівальної методичної печі і штовхаючим пристроєм зіштовували у піч.

3. Нагрівання безперервнолитої заготовки в індукційній печі до температури 1200°C, де заготовка рухалася за допомогою штовхача.

4. Нагріту безперервнолиту заготовку за допомогою виштовхувача видавали з печі на рольганг.

5. Транспортування безперервнолитої заготовки за допомогою рольганга до чорнової кліті прокатного стану.

6. Обрізання розкату за допомогою кривошипно-важільних ножиць.

7. Прокатування у чорнових клітях прокатного стану за визначеними режимами обтиснення.

					КНУ.РБ.136.26.112с-06.02.ТПВШС			
Вим.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата	ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС ВИГОТОВЛЕННЯ ШЕСТИКУТНОЇ СТАЛІ	Літ.	Аркуш	Аркушів
Розробив	Кузьменко						2.1	28
Перевірив	Чубенко					Кафедра МЧМЛВ гр. МТ-23-1ск		
Рецензент								
Н. контр.	Чубенко							
Затвердив	бабошко							

8. Прокатування розкату у проміжних клітках прокатного стану.
9. Прокатування розкату у чистових клітках прокатного стану.
10. Розрізання розкату на мірні довжини за допомогою летючих ножиць.
11. Охолодження розкату на холодильнику.
12. Правка прокату, притирання виробу.
13. Термічна обробка шестикутного виробу, де здійснюється загартування при температурі 860 °С, відпущення при температурі 500 °С.
14. Кінцевий контроль якості готового шестикутного профілю, який полягає в контролюванні поперечних розмірів та їх відхилень від номінальних, що здійснюється за допомогою шаблонів; визначення механічних властивостей матеріалу, твердості, стійкості; хімічний контроль матеріалу, що здійснюється на спеціальному обладнанні.
15. Маркування готового прокату.
16. Пакування шестикутного прокату в штаби.

В якості вихідного матеріалу використовують заготовки, що отримані на безперервно-заготовочних станах або безперервної розливкою. Використання безперервно-литих заготовок є більш сучасним та перспективним способом, тому при розробці технологічного процесу виготовлення шестикутної сталі будемо використовувати саме цей спосіб. Для отримання шестигранного профілю, що має розмір описаного кола 26 мм, пропонується використовувати безперервно-литу заготовку квадратного поперечного перерізу розміром 80×80 мм.

2.2 Розрахунок калібрування шестикутної сталі з діаметром вписаного кола 26 мм

Допустимі відхилення для шестикутної сталі розміром 26 мм при звичайній точності прокатування складають $26^{+0,3}_{-0,5}$. Бік шестикутника з урахуванням мінусового допуску буде дорівнювати:

$$C = 0,577 \cdot 26 - \frac{0,5}{2} = 14,8 \text{ мм.} \quad (2.1)$$

					КНУ.РБ.136.26.112с-06.02.ТПВШС	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		2.2

Зазор між валками приймаємо:

$$S = 0,1 \cdot h_{13} = 0,1 \cdot 30,0 = 3,0 \text{ мм.} \quad (2.4)$$

Коефіцієнт висотної деформації приймаємо: $\eta_{13} = 1,25$.

Випуск калібру приймаємо 2 %.

Передчистова дванадцята кліть має спеціальний вертикальний калібр (рис. 2.2).

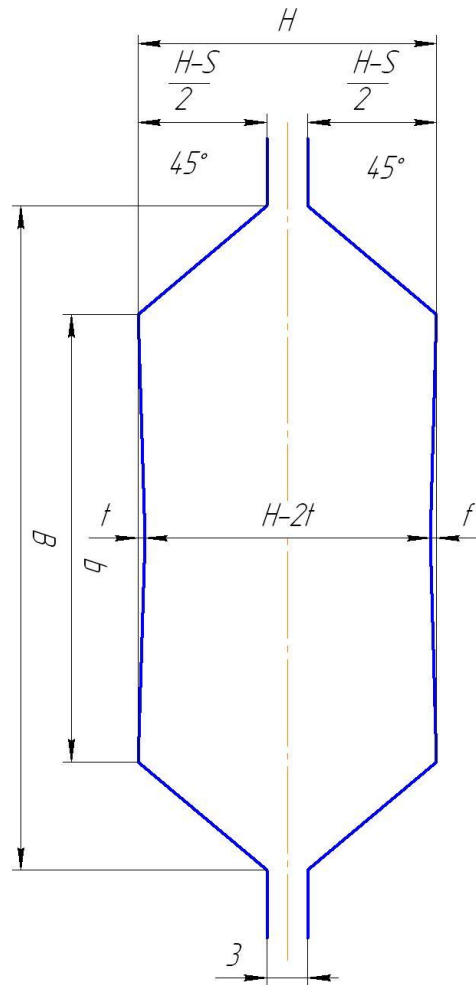


Рисунок 2.2 – Передчистовий калібр: H – висота калібру; B – ширина калібру по буртах; b – ширина калібру по дну; f – прогин калібру

Коефіцієнт зменшення висоти в передостанньому калібрі дорівнює:

$$\eta = 1,25.$$

Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Ширина передчистового калібру з врахуванням коефіцієнту зменшення висоти дорівнює:

$$b_{12} = 1,25 \cdot h_{13} = 1,25 \cdot 30,0 = 37,5 \text{ мм.} \quad (2.5)$$

Висота передостаннього калібру визначається з врахуванням розширення в чистовому калібрі. Нахил бокових стінок цього калібру приймають 45° . Опуклість по дну калібру дорівнює 1 мм.

В чистовому калібрі відбулося обтиснення, яке дорівнює:

$$\Delta h_{13} = b_{12} - h_{13} = 37,5 - 30,0 = 7,5 \text{ мм.} \quad (2.6)$$

Загальна висота передчистового калібру визначається за формулою:

$$h_{12} = d - \Delta b_{13}, \text{ мм.} \quad (2.7)$$

де Δb – розширення розкату в чистовому калібрі, яке визначається за формулою:

$$\Delta b = 0,35 \cdot \frac{\Delta h}{b} \sqrt{R \Delta h}, \quad (2.8)$$

де R – радіус прокатних валків

$$\Delta b = 0,35 \cdot \frac{7,5}{37,5} \sqrt{170 \cdot 7,5} = 2,5 \text{ мм.}$$

Загальна висота передчистового шестикутного калібру за формулою (2.7) дорівнює:

$$h_{12} = 26 - 2 = 24 \text{ мм.}$$

Глибина рівчака передчистового калібру визначається формулою:

$$h_p = \frac{h_{12} - S}{2}, \text{ мм.} \quad (2.9)$$

де S – зазор між прокатними валками, який в чистових проходах дорівнює $S = 2$ мм.

$$h_p = \frac{24 - 2}{2} = 11,0 \text{ мм.}$$

Ширина калібру по дну:

$$b_{k12} = b_{12} - 2h_p = 37,5 - 2 \cdot 11 = 15,5 \text{ мм.}$$

Вгнутість передчистового калібру приймаємо рівною $f = 1$ мм.

					КНУ.РБ.136.26.112с-06.02.ТПВШС	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		2.5

Площа поперечного перерізу передчистового калібру дорівнює:

$$F_{12} = b_{12} \cdot h_{12} - 2h_p^2 = 37,5 \cdot 24 - 2 \cdot 11^2 = 658 \text{ мм}^2. \quad (2.10)$$

Коефіцієнт витяжки в 13 калібрі:

$$\mu = \frac{F_{12}}{F_{13}} = \frac{658}{585,5} = 1,124. \quad (2.11)$$

11 і 10 кліті для виготовлення шестикутного профілю розміром 26 мм не використовуються.

Розраховуємо калібрування в 9 кліті, яка має форму ребрового овалу. Кліть розташовано горизонтально.

Площа поперечного перерізу калібру в дев'ятій прокатній кліті дорівнює:

$$F_9 = \mu_9 \cdot F_{12} = 1,01 \cdot 658 = 664,58 \text{ мм}^2, \quad (2.12)$$

де μ_9 – коефіцієнт витяжки, приймаємо 1,01.

Ширина калібру в дев'ятій прокатній кліті дорівнює:

$$b_9 = \sqrt{1,06 \cdot F_9} = \sqrt{1,06 \cdot 664,58} = 26,5 \text{ мм}. \quad (2.13)$$

Висота калібру в дев'ятій прокатній кліті дорівнює:

$$h_9 = 24,0 \cdot 1,25 = 30,0 \text{ мм}.$$

Катаючий радіус прокатних валків в дев'ятій прокатній кліті дорівнює:

$$R_{\text{к.ср.}} = \frac{380-37,2}{2} = 171,4 \text{ мм};$$

Зазор між прокатними валками приймаємо: $S = 7,2 \text{ мм}$.

Швидкість прокатування в дев'ятій прокатній кліті дорівнює: $v_9 = 5,5 \text{ м/с}$, температура $t = 1055^\circ\text{C}$; кут захоплення $\alpha = 15,8^\circ$.

За графіками 77, 78 визначаємо коефіцієнти витяжки в залежності від діаметрів прокатних валків:

Для $D = 380$: $\mu = 1,3 \text{ мм}$.

Розширення у ребровому овалі за графіками дорівнює:

Для $D = 400$: $\Delta b = 5 \text{ мм}$.

Виконуємо розрахунок восьмої прокатної кліті, яка має овальні калібри.

Площа поперечного перерізу: $F_8 = 863,2 \text{ мм}^2$.

Висота овалу дорівнює: $h_8 = 23,0 \text{ мм}$.

					КНУ.РБ.136.26.112с-06.02.ТПВШС	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		2.6

Ширина овалу при зазорі між прокатними валками $S = 5,0$ мм:

$$b_8 = \frac{3 \cdot 863,2}{2 \cdot 23,0 + 5,0} = 50,8 \text{ мм.}$$

Обтиснення: $\Delta h = 30 - 23,0 = 7$ мм.

Уширення: $\Delta b = 50,8 - 26,5 = 24,3$ мм.

Розрахунок сьомої прокатної кліті, яка має калібри овальної форми.

Приймаємо коефіцієнт витяжки для ребрового овалу $\mu = 1,39$ мм.

Площа поперечного перерізу калібру в сьомій прокатній кліті дорівнює:

$$F_7 = 1203,3 \text{ мм}^2.$$

Ширина ребрового овалу дорівнює: $b_7 = 35,7$ мм.

Висота ребрового овалу дорівнює ширині: $h_7 = 35,7$ мм.

Середній катаючий діаметр сьомої прокатної кліті дорівнює:

$$R_{\text{к.ср}} = 191,45 \text{ мм.}$$

При прокатуванні в сьомій кліті відбувається розширення, яке дорівнює:

$$\Delta b = 7 \text{ мм.}$$

Швидкість прокатування в сьомій кліті дорівнює – $v_7 = 3,4$ м/с;

температури розкату складає: $t = 1090^\circ\text{C}$.

Кут захоплення металу прокатними валками дорівнює $\alpha = 19,1^\circ$.

За графіками рисунків 75,76 [7] визначимо витяжку при прокатуванні в калібрі в залежності від діаметрів прокатних валків:

Для діаметру прокатного валка $D = 400$, витяжка дорівнює $\mu = 1,28$ мм.

За графіками рисунків 75,76 [7] визначимо розширення смуги в залежності від діаметрів прокатних валків:

Для $D = 400$: $\Delta b = 6,4$ мм.

Розрахунок шостої прокатної кліті, яка має овальну форму калібрів, розташовані горизонтально.

Площа поперечного перерізу калібру в шостій прокатній кліті з урахуванням коефіцієнта витяжки дорівнює:

$$F_6 = 1203 \cdot 1,28 = 1540 \text{ мм}^2.$$

					КНУ.РБ.136.26.112с-06.02.ТПВШС	Аркуш
						2.7
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Висота овального калібру в шостій прокатній кліті дорівнює 6:

$$h_6 = 29,3 \text{ мм.}$$

Ширина овального калібру при зазорі $S = 6,3$ мм дорівнює $b_6 = 55,6$ мм.

Витяжку в овалі шостої прокатної кліті визначимо за формулою:

$$\mu_6 = 1 + 1,25(\mu_{p.o} - 1) = 1 + 1,25(1,28 - 1) = 1,35. \quad (2.14)$$

Виконуємо розрахунок калібру в п'ятій прокатній кліті, яка має форму калібру – ребровий овал.

Площа поперечного перерізу розкату з врахуванням витяжки дорівнює:

$$F_5 = 1624,5 \text{ мм}^2.$$

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

Висота ребрового овалу дорівнює: $h_5 = 51,8$ мм.

Перевіримо заповнення овалу в п'ятій прокатній кліті: $\Delta h_{cp} = 9,5$ мм.

Середній катаючий радіус прокатних валків п'ятої кліті дорівнює:

$$R_{k.cp} = 189,2 \text{ мм.}$$

Відбувається розширення при прокатуванні в п'ятій прокатній кліті:

$$\Delta b = 5,9 \text{ мм.}$$

Щоб запобігти переповненню калібру приймемо ширину калібру в шостій прокатній кліті $b_6 = 60,3$ мм.

Швидкість прокатування в п'ятій прокатній кліті дорівнює: $v_5 = 2,5$ м/с; температура прокатування складає $t = 1100^\circ\text{C}$.

Кут захоплення металу прокатними валками дорівнює $\alpha = 21,2^\circ$.

Коефіцієнт витяжки визначаємо за графіками в залежності від діаметру прокатного валку та ширини розкату:

Для $D = 400$ при $b_5 = 41,5$ витяжка дорівнює $\mu = 1,35$ мм.

Визначимо розширення в залежності від діаметру прокатних валків та ширини смуги:

Для $D = 400$ $b_5 = 41,5$ розширення дорівнює $\Delta b = 6,6$ мм.

Виконуємо розрахунок четвертої прокатної кліті, яка має овальний калібр

					КНУ.РБ.136.26.112с-06.02.ТПВШС	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		2.8

Площа овального калібру четвертої прокатної кліті дорівнює:

$$F_4 = 1,35 \cdot 1624,5 = 2193 \text{ мм}^2.$$

Товщина калібру четвертої прокатної кліті дорівнює:

$$h_4 = 41,5 - 6,6 = 34,9 \text{ мм при зазорі між прокатними валками } S = 8,9 \text{ мм.}$$

Ширина калібру четвертої прокатної кліті: $b_4 = 83,6 \text{ мм}$.

Величина обтиснення для четвертого калібру дорівнює:

$$\Delta h = 56 - 34,9 = 21,1 \text{ мм.}$$

Коефіцієнт витяжки в овальному калібрі четвертої прокатної кліті визначаємо за формулою:

$$\mu_4 = 1 + 1,25 \cdot (1,35 - 1) = 1,438.$$

Прийmemo $\mu_4 = 1,44$.

Переходимо до розрахунку першої, другої та третьої прокатної кліті, яка мають чорнові калібри ящикової форми.

Третій калібр має форму ящикового квадрату.

Площа поперечного перерізу калібру третьої прокатної кліті дорівнює:

$$F_3 = \mu_4 \cdot F_4 = 1,435 \cdot 2193 = 3147 \text{ мм}^2.$$

Сторона ящикового квадрату третього калібру з урахуванням теплового розширення матеріалу дорівнює:

$$C_3 = \sqrt{1,03 \cdot F_3} = \sqrt{1,03 \cdot 3147} = 56,9 \text{ мм.}$$

Заготовка, яка поступає в першу кліть в гарячому виді має розміри з врахуванням теплового розширення:

$$h_0 \times b_0 = 1,03 \cdot 80 \times 80 = 81 \times 81 \text{ мм.}$$

Площа поперечного перерізу початкового матеріалу без врахування теплового розширення дорівнює: $F_0 = 6400 \text{ мм}^2$.

Розподілимо обтиснення між чорновими прокатними клітями. Приймаємо величину обтиснення в першій кліті $\Delta h = 18 \text{ мм}$.

Висота смуги в калібри після проходу в першій прокатній кліті буде дорівнювати: $h_1 = 81 - 18 = 63 \text{ мм}$.

					КНУ.РБ.136.26.112с-06.02.ТПВШС	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		2.9

Зазор між прокатними валками в першій прокатній кліті приймаємо:

$$S = 9 \text{ мм.}$$

Катаючий радіус в першій прокатній кліті дорівнює:

$$R_1 = \frac{400+9-63}{2} = 173 \text{ мм.}$$

Кут захоплення в першій прокатній кліті дорівнює:

$$\alpha = \arccos\left(1 - \frac{\Delta h}{D_0}\right) = \arccos\left(1 - \frac{18}{346}\right) = 0,343 \text{ рад.} \quad (2.15)$$

Визначаємо показник ступеню:

$$R \cdot \alpha = 56 < h_{\text{cp}} > n = 2.$$

Розширення в першій прокатній кліті визначимо за формулою:

$$\Delta b = \frac{2 \cdot \Delta h \cdot b_{\text{cp}} \cdot K_{\text{орг}}}{(H+h) \cdot \left[1 + (1+\alpha) \cdot \left(\frac{b_{\text{cp}}}{R \cdot \alpha}\right)^n\right]}, \quad (2.16)$$

Підставив відповідні значення, отримаємо розширення у кліті:

$$\Delta b = \frac{2 \cdot 81 \cdot 18 \cdot 0,9}{(81+63) \cdot \left[1 + (1+0,343) \cdot \left(\frac{81}{56}\right)^2\right]} = 4,8 \text{ мм.}$$

Ширина розкату після проходу в першій прокатній кліті буде дорівнювати:

$$b_1 = 81 + 4,8 = 85,8 \text{ мм.}$$

В результаті розрахунку, отримали розміри смуги після першої кліті:

$$h_1 \times b_1 = 63 \times 85,8 \text{ мм.}$$

Площа поперечного перерізу розкату, що отриманий в першій прокатній кліті, дорівнює: $F_1 = 5405,4 \text{ мм}^2$.

Коефіцієнт витяжки в першій прокатній кліті дорівнює: $\mu_1 = 1,184$.

Друга прокатна кліть має ящиківий калібр.

Обтиснення в другій прокатній кліті приймаємо рівним: $\Delta h = 17 \text{ мм}$.

Висота смуги в калібрі другої прокатної кліті дорівнює:

$$h_2 = 63 - 17 = 46 \text{ мм.}$$

Приймаємо зазор в калібрі другої прокатної кліті рівним $S = 8 \text{ мм}$.

Катаючий радіус прокатного валка в другій прокатній кліті дорівнює:

$$R_1 = \frac{400+8-46}{2} = 181 \text{ мм.}$$

					КНУ.РБ.136.26.112с-06.02.ТПВШС	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		2.10

Кут захоплення металу прокатними валками дорівнює:

$$\alpha = \arccos \left(1 - \frac{17}{362} \right) = 0,308 \text{ рад.}$$

Визначаємо показник степеню для розрахунку розширення в другій прокатній кліті:

$$R \cdot \alpha = 181 \cdot 0,308 = 55,7 < h_{\text{cp}} = 85,8; n = 2.$$

Розширення в другій прокатній кліті дорівнює:

$$\Delta b = \frac{2 \cdot 85,8 \cdot 17 \cdot 0,9}{(63+46) \cdot \left[1 + (1+0,308) \cdot \left(\frac{85,8}{55,7} \right)^2 \right]} = 5,9 \text{ мм.}$$

Ширина розкату в другій прокатній кліті:

$$b_2 = 85,8 + 5,9 = 91,7 \text{ мм.}$$

Після прокатування в другій прокатній кліті, отримали розкат, який має розміри:

$$h_2 \times b_2 = 46 \times 91,7 \text{ мм.}$$

Площа поперечного перерізу розкату в другій прокатній кліті дорівнює:

$$F_2 = 4218,7 \text{ мм}^2.$$

Коефіцієнт витяжки в другій прокатній кліті дорівнює: $\mu_2 = 1,28$.

Третя прокатна кліть має ящикову форму. Перед третьою кліттю потрібно виконати кантування на 90° .

Визначення параметрів третьої прокатної кліті:

Обтиснення в третій прокатній кліті дорівнює:

$$\Delta h_3 = 91,7 - 56,9 = 34,8 \text{ мм.}$$

Катаючий радіус прокатних валків третьої кліті дорівнює:

$$R_3 = \frac{400+8,9-56,9}{2} = 176 \text{ мм.}$$

Кут захоплення металу прокатними валками:

$$\alpha = \arccos \left(1 - \frac{34,8}{352} \right) = 0,448 \text{ рад.}$$

Показник степеню при деформації:

$$R \cdot \alpha = 176 \cdot 0,448 = 78,8 < h_{\text{cp}} = 46; n = 1.$$

					КНУ.РБ.136.26.112с-06.02.ТПВШС	Аркуш
						2.11
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розширення смуги в третій:

$$\Delta b_3 = \frac{2 \cdot 46 \cdot 34,8 \cdot 0,9}{(91,7 + 56,9) \cdot \left[1 + (1 + 0,448) \cdot \left(\frac{46}{78,8} \right)^2 \right]} = 10,5 \text{ мм.}$$

Розміри розкату після його проходу в третій прокатній кліті дорівнює:

$$b_3 = 46 + 10,5 = 56,5 \text{ мм.}$$

$$h_3 \times b_3 = 56,9 \times 56,5 \text{ мм.}$$

Таким чином ми отримали калібрування прокатних валків для отримання точної форми та розмірів шестикутника 26 мм за мінімальну кількість проходів.

Результати розрахунку занесемо в табл. 2.1

З таблиці видно форму та розташування калібрів в прокатних валках. Площа поперечного перерізу розкату при поході від калібру зменшується з врахуванням коефіцієнту витяжки. Прокатування відбувається почергово у вертикальних та горизонтальних калібрах.

2.3 Визначення швидкісного режиму прокатування

Швидкість прокатування – це дуже важливий показник тому, що від неї залежить продуктивність процесу обробки. Швидкість прокатування при проході розкату від чорнових клітей збільшується. При безперервному прокатуванні повинна відбуватися умова постійності секундних об'ємів. В іншому випадку може відбуватися зайве натягнення смуги між клітями, що може викликати такі дефекти, як утворення тріщин або розривів. також при недотриманні секундних об'ємів може утворюватися петля, що призведе до з'явлення плутанки між клітями.

Швидкість прокатування залежить від таких параметрів як константа калібрування, діаметр прокатних валків та їх частота обертання.

За технічної характеристикою прокатного стану швидкість прокатування у останній прокатній кліті дорівнює $v=15$ м/с.

					КНУ.РБ.136.26.112с-06.02.ТПВШС	Аркуш
						2.12
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.1 – Результаті калібрування шестикутника розміром 26 мм

№ кліті	Форма калібру	Розміри смуги			Коефі- цієнт витажки μ	Обтиснення Δh , мм	Розширення Δb , мм	Діаметр валків		Зазор S, мм
		h, мм	b, мм	F, мм ²				Номінальний, мм	Катаючий, мм	
Безперервнолита заготовка 80x80 мм										
1	Ящиковий горизонтальний	63,0	85,8	5405,4	1,184	18	4,8	400	346	9,0
2	Ящиковий горизонтальний	46,0	91,7	4218,7	1,280	17	5,9	400	362	9,0
Катування на 90°										
3	Ящиковий квадрат горизонтальний	59,9	56,6	3147,0	1,340	34,4	9,5	400	352	9,0
4	Овал горизонтальний	34,9	83,3	2193,0	1,438	21,1	26,7	400	350	8,0
5	Р.овал вертикальний	51,8	41,5	1624,5	1,35	31,8	6,6	400	378	7,5

Вим.

Арк.

№ док.м.

Підпис

Дата

КНУ/РБ.136.26.112с-06.02.ТПВШС

2.13

Архшт

Продовження таблиці 2.1

6	Овал горизонтальний	29,3	60,3	1540,0	1,28	9,5	12,2	380	356	6,3
7	Овал вертикальний	37,5	35,7	1203,0	1,33	24,6	6,4	380	351	6,0
8	Овал горизонтальний	23,0	50,8	863,0	1,3	7,0	24,3	380	362	5,0
9	Р.овал горизонтальний	30,0	26,5	664,6	1,01	2,5	7,5	380	343	7,2
12	Вертикальний спеціальний	24	37,5	658,9	1,024	7,5	2,5	380	345	2,0
13	Шестикутний горизонтальний	26	30	585,5	1,124	11,5	6,0	380	357	3,0

КНУ.РБ.136.26.112с-06.02.ТПВПС

Вим.

Арк.

№ докум.

Підпис

Дата

2.14

Архшт

Частота обертання прокатних валків в останній тринадцятій прокатній кліті буде дорівнювати:

$$n_B = \frac{60 \cdot v}{\pi \cdot D_{к13}} = \frac{60 \cdot 15 \cdot 1000}{3,14 \cdot 357} = 802,9 \text{ об/хв.} \quad (2.17)$$

Оберти двигуна знаходять за формулою:

$$n_{дв} = n_B \cdot i_{ред}, \quad (2.18)$$

де $i_{ред}$ – передаточне число редуктора: $i_{ред} = 60$.

Підставив відповідні значення, отримаємо:

$$n_{дв} = n_B \cdot i_{ред} = 802,9 \cdot 0,6 = 481,7 \text{ об/хв.}$$

Константа калібрування дорівнює:

$$K = F \cdot D_{к1} \cdot n_B = 585 \cdot 357 \cdot 802,9 = 167681650. \quad (2.19)$$

Швидкість прокатування в дванадцятій прокатній кліті зменшується з врахуванням коефіцієнту витяжки в останній прокатній кліті і визначається за формулою:

$$v_{12} = \frac{v_{13}}{\mu_{13}}. \quad (2.20)$$

Після підстановки відповідних значень, отримаємо:

$$v_{12} = \frac{15}{1,124} = 13,3 \text{ м/с.}$$

Частота обертання прокатних валків в дванадцятій прокатній кліті буде дорівнювати:

$$n_B = \frac{60 \cdot v}{\pi \cdot D_{к13}} = \frac{60 \cdot 13,3 \cdot 1000}{3,14 \cdot 343} = 740,9 \text{ об/хв.}$$

Швидкість прокатування в дев'ятій прокатній кліті дорівнює:

$$v = \frac{13,4}{1,024} = 13,0 \text{ м/с.}$$

Частота обертання прокатних валків у дев'ятій прокатній кліті дорівнює:

$$n_B = \frac{60 \cdot v}{\pi \cdot D_{к13}} = \frac{60 \cdot 13,0 \cdot 1000}{3,14 \cdot 345} = 720,0 \text{ об/хв.}$$

Швидкість прокатування у восьмій прокатній кліті дорівнює:

$$v = \frac{13,0}{1,01} = 12,95 \text{ м/с.}$$

					КНУ.РБ.136.26.112с-06.02.ТПВШС	Аркуш
						2.15
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Частота обертання прокатних валків у восьмій прокатній кліті дорівнює:

$$n_B = \frac{60 \cdot v}{\pi \cdot D_{к13}} = \frac{60 \cdot 12,95 \cdot 1000}{3,14 \cdot 362} = 683,5 \text{ об/хв.}$$

Швидкість прокатування у сьомій прокатній кліті дорівнює:

$$v = \frac{12,94}{1,3} = 9,97 \text{ м/с.}$$

Частота обертання прокатних валків у сьомій прокатній кліті дорівнює:

$$n_B = \frac{60 \cdot v}{\pi \cdot D_{к13}} = \frac{60 \cdot 9,97 \cdot 1000}{3,14 \cdot 351} = 542,8 \text{ об/хв.}$$

Швидкість прокатування у шостій прокатній кліті дорівнює:

$$v = \frac{9,97}{1,33} = 7,5 \text{ м/с.}$$

Частота обертання прокатних валків у шостій прокатній кліті дорівнює:

$$n_B = \frac{60 \cdot v}{\pi \cdot D_{к13}} = \frac{60 \cdot 7,5 \cdot 1000}{3,14 \cdot 356} = 402,6 \text{ об/хв.}$$

Швидкість прокатування у п'ятій прокатній кліті дорівнює:

$$v = \frac{7,5}{1,35} = 5,6 \text{ м/с.}$$

Частота обертання прокатних валків у п'ятій прокатній кліті дорівнює:

$$n_B = \frac{60 \cdot v}{\pi \cdot D_{к13}} = \frac{60 \cdot 5,6 \cdot 1000}{3,14 \cdot 378} = 283 \text{ об/хв.}$$

Швидкість прокатування у четвертій прокатній кліті дорівнює:

$$v = \frac{5,6}{1,4} = 3,97 \text{ м/с.}$$

Частота обертання прокатних валків у четвертій прокатній кліті дорівнює:

$$n_B = \frac{60 \cdot v}{\pi \cdot D_{к13}} = \frac{60 \cdot 3,97 \cdot 1000}{3,14 \cdot 350} = 216,7 \text{ об/хв.}$$

Швидкість прокатування у третій прокатній кліті дорівнює:

$$v = \frac{3,97}{1,34} = 2,96 \text{ м/с.}$$

Частота обертання прокатних валків у третій прокатній кліті дорівнює:

$$n_B = \frac{60 \cdot v}{\pi \cdot D_{к13}} = \frac{60 \cdot 2,96 \cdot 1000}{3,14 \cdot 352} = 160,6 \text{ об/хв.}$$

Швидкість прокатування у другій прокатній кліті дорівнює:

$$v = \frac{2,96}{1,28} = 2,32 \text{ м/с.}$$

					КНУ.РБ.136.26.112с-06.02.ТПВШС	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		2.16

Частота обертання прокатних валків у другій прокатній кліті дорівнює:

$$n_B = \frac{60 \cdot v}{\pi \cdot D_{к13}} = \frac{60 \cdot 2,32 \cdot 1000}{3,14 \cdot 362} = 122,4 \text{ об/хв.}$$

Швидкість прокатування у першій прокатній кліті дорівнює:

$$v = \frac{2,32}{1,184} = 1,96 \text{ м/с.}$$

Частота обертання прокатних валків у першій прокатній кліті дорівнює:

$$n_B = \frac{60 \cdot v}{\pi \cdot D_{к13}} = \frac{60 \cdot 1,96 \cdot 1000}{3,14 \cdot 346} = 108,2 \text{ об/хв.}$$

2.4 Розрахунок продуктивності стану

Для визначення продуктивності прокатного стану визначимо машинний час прокатування в останній кліті

$$t_M = \frac{L_{13}}{v_{13}}, \quad (2.21)$$

де L_{13} – довжина смуги в останній прокатній кліті, визначається за формулою:

$$L_{13} = L_0 \cdot \mu_{заг}, \quad (2.22)$$

де $\mu_{заг}$ – загальний коефіцієнт витяжки, визначається за формулою:

$$\mu_{заг} = \frac{F_0}{F_k}. \quad (2.23)$$

Після підстановки відповідних значень, отримаємо, що загальний коефіцієнт витяжки:

$$\mu_{заг} = \frac{6400}{585,5} = 10,93.$$

Тоді, довжина шестикутної смуги в останній кліті буде дорівнювати:

$$L_{13} = 11 \cdot 10,93 = 120,24 \text{ м.}$$

Тоді машинний час прокатування дорівнює:

$$t_M = \frac{120,24}{15} = 8,02 \text{ с.}$$

Час пауз при прокатування в останній прокатній кліті дорівнює:

$$t_{пауз} = 1,6 \text{ с.}$$

Такт прокатування в останній прокатній кліті дорівнює:

$$T = t_M + t_{пауз} = 8,02 + 1,6 = 9,12 \text{ с.}$$

					КНУ.РБ.136.26.112с-06.02.ТПВШС	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		2.17

Продуктивність прокатного стану визначається за формулою:

$$P_{в.с} = \frac{3600}{T} \cdot G, \quad (2.24)$$

де G маса початкового матеріалу, кг, яка залежить від його густини.

Приймаємо, що густина сталі дорівнює 7750 кг/м^3 .

Тоді маса матеріалу дорівнює:

$$G = 0,8 \cdot 0,8 \cdot 11 \cdot 7750 = 54560 \text{ кг} = 54,56 \text{ т.}$$

Тоді, продуктивність прокатного стану дорівнює:

$$P_{в.с} = \frac{3600}{9,12} \cdot 54,56 = 21356842 \text{ т/с.}$$

2.5 Розрахунок енергосилових параметрів для виготовлення шестикутника розміром вписаного кола 26 мм

Розрахунок починаємо з першого чорнового калібру, що має ящичну форму.

Температура матеріалу, що обтискується у першій прокатній кліті дорівнює: $T = 1145^\circ\text{C}$.

Швидкість прокатування в цій кліті дорівнює; $v = 1,96 \text{ м/с}$.

Діаметр прокатного валка дорівнює 400 мм.

Базова границя текучості матеріалу дорівнює: $\sigma_0 = 81 \text{ МПа}$;

$i = 11,4$ – перед. відношення ред.;

$d = 0,275$ – діаметр ПЖТ;

$n_{dv} = 108,2$ – оберти двигуна.

При прокатуванні в першій прокатній кліті відбулося абсолютне обтиснення: $\Delta h = 18, \text{ мм}$.

Відносне обтиснення визначаємо за формулою:

$$\varepsilon = \frac{\Delta h}{h_0} \cdot 100 = \frac{18}{80} 100 = 22,5\%; \quad (2.25)$$

Швидкість деформації дорівнює:

$$u = v \cdot \frac{\Delta h \cdot h_0}{\sqrt{R_d \cdot \Delta h}} = 3,111 \text{ 1/с.} \quad (2.26)$$

Термомеханічні коефіцієнти приймають значення:

- коефіцієнт впливу температури

					КНУ.РБ.136.26.112с-06.02.ТПВШС	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		2.18

$$k_t = 0,57 + 0,0045 \cdot (1200 - T) \cdot \sqrt{\frac{1200-T}{T}} = 0,623;$$

- коефіцієнт впливу швидкості деформації дорівнює:

$$k_u = 0,80 + 0,065 \cdot \sqrt{3,1} = 0,915;$$

- коефіцієнт впливу ступеню деформації:

$$k_\varepsilon = 0,82 + 0,082 \cdot \sqrt{0,225} = 1,207.$$

Середнє значення границі текучості під впливом таких коефіцієнтів прийме значення:

$$\sigma_t = \sigma_0 \cdot k_t \cdot k_u \cdot k_\varepsilon. \quad (2.27)$$

Після підстановки, отримаємо наступне значення:

$$\sigma_t = 55,688.$$

Коефіцієнт тертя при прокатуванні в першій прокатній кліті дорівнює:

$$k_v = 0,4 + 0,6 \cdot (1 - 0,05 \cdot v) = 0,977; \quad (2.28)$$

$$f = 0,8 \cdot (0,62 - 0,00025 \cdot T) \cdot k_v = 0,261. \quad (2.29)$$

Умовний коефіцієнт тертя при прокатуванні в першій прокатній кліті дорівнює:

$$f_i = f \cdot \frac{b_k + h_p}{b_k} = 0,35. \quad (2.30)$$

Довжина осередку деформації при прокатуванні в першій прокатній кліті дорівнює:

$$l_d = \sqrt{R_d \cdot \Delta h} = 55,723 \text{ мм}. \quad (2.31)$$

Для визначення коефіцієнту підпору розрахуємо середню висоту профілю:

$$h_c = 0,5 \cdot (80 + 63) = 72 \text{ мм}.$$

Тоді, коефіцієнт підпору дорівнює:

$$n_p = \left(1 - \frac{l}{h_c}\right) + \frac{0,55}{\sqrt{\frac{1}{h_c}}} = 1,083. \quad (2.32)$$

Коефіцієнт тертя при деформації

$$f_c = f \left[1,28 + 0,003 \cdot (\varepsilon - 70) \cdot \sqrt{\varepsilon} - 0,005 \cdot \left(\frac{l}{h_c} - 1\right) \right] = 0,158. \quad (2.33)$$

					КНУ.РБ.136.26.112с-06.02.ТПВШС	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		2.19

Середній контактний тиск по дну калібру в вертикальному напрямку знаходиться за формулою:

$$P_v = \sigma_t \cdot n_p, \quad (2.34)$$

де σ_t – границя текучості матеріалу в гарячому стані, яка дорівнює $\sigma_t = 55,7$.

Тоді, середній контактний тиск дорівнює:

$$P_v = 55,7 \cdot 1,083 = 60,312 \text{ МПа.}$$

Середній контактний тиск на бокову поверхню калібру дорівнює:

$$P_b = P_v \cdot [0,006 \cdot \varepsilon + 0,11(1 + Z)^2 + 0,228] = 29,98 \text{ МПа.}$$

Горизонтальна проекція бокової поверхні:

$$\frac{h_z}{h_p} = 5 \cdot \left(\frac{B}{b_k} - 1 \right) + 0,0325 \cdot \varepsilon - 0,027 \cdot \varphi + 0,305 = 0,647.$$

$$F_b = 0,02 \cdot \varphi \cdot h_p \left(0,84 \cdot \frac{h_z}{h_p} - 0,18 \right) \cdot 1 = 182,658 \text{ мм}^2.$$

Повний тиск металу на валок в першій прокатній кліті:

$$P = (P_v \cdot F + P_b \cdot F_b) \cdot 0,001 = 291,271 \text{ кН.}$$

Коефіцієнт плеча моменту для першої кліті дорівнює:

$$\Psi = 0,78 - 0,27 \cdot \frac{l_d}{h_c} = 0,571.$$

Момент, необхідний для деформації металу в першій прокатній кліті:

$$M_{\text{пр}} = 2 \cdot P \cdot \Psi \cdot 1 \cdot 0,001 = 18,536 \text{ кН} \cdot \text{м.}$$

Динамічний момент в першій кліті:

$$M_d = \frac{2 \cdot M_{\text{пр}} + 2 \cdot P \cdot 0,003 \cdot d}{i \cdot 0,96 \cdot 0,96 \cdot 0,94} = 3,803 \text{ кН} \cdot \text{м.}$$

Потужність прокатування дорівнює:

$$N_d = \frac{M_{dv} \cdot n_{dv}}{9,75} = 201,476 \text{ кВт.}$$

В другій прокатній кліті:

- температура прокатування розкату дорівнює: $T = 1135^\circ\text{C}$;
- швидкість прокатування дорівнює: $v = 2,32 \text{ м/с}$;
- номінальний діаметр прокатних валків $D = 400$;
- початкова границя текучості матеріалу $\sigma_0 = 81 \text{ МПа}$;

					КНУ.РБ.136.26.112с-06.02.ТПВШС	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		2.20

- передаточне число редуктора дорівнює: $i = 11,4$;
- діаметр підшипників $d = 0,275$;
- абсолютне обтиснення дорівнює: $\Delta h = 63 - 46 = 17$, мм;
- відносне обтиснення дорівнює: $\varepsilon = \frac{17}{63} \cdot 100 = 26,984\%$;

Швидкість деформації в другій прокатній кліті дорівнює:

$$u = 4,913 \text{ 1/с.}$$

Термомеханічні коефіцієнти дорівнюють:

$$k_t = 0,638; k_u = 0,944; k_\varepsilon = 1,246.$$

Середнє значення границі текучості під дією термомеханічних коефіцієнтів дорівнює:

$$\sigma_t = 60,795 \text{ МПа.}$$

Коефіцієнт тертя дорівнює: $f = 0,261$.

Умовний коефіцієнт тертя в другій прокатній кліті: $f_i = 0,32$.

Довжина дуги контакту в осередку деформації для другою прокатної кліті дорівнює: $l_d = 55,471$ мм.

Середня висота смуги дорівнює:

$$h_c = 0,5 \cdot (63 + 46) = 54,5 \text{ мм.}$$

Коефіцієнт підпору в другій прокатній кліті дорівнює:

$$n_p = 1,301.$$

Коефіцієнт тертя з урахуванням коефіцієнту підпору дорівнює:

$$f_c = 0,354.$$

Середній контактний тиск, який діє по дну калібру вертикально дорівнює:

$$P_v = 60,312 \text{ МПа.}$$

Середній контактний тиск, що діє на бічну поверхню калібру складає:

$$P_b = 42,622 \text{ МПа.}$$

Повний тиск металу, що діє на валок в другій прокатній кліті дорівнює:

$$P = 374,935 \text{ кН.}$$

Коефіцієнт плеча моменту про прокатуванні в другій ящиківій кліті буде дорівнювати: $\Psi = 0,505$.

					КНУ.РБ.136.26.112с-06.02.ТПВШС	Аркуш
						2.21
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Момент, який виникає при деформації матеріалу в другій прокатній кліті дорівнює:

$$M_{\text{пр}} = 21,014 \text{ кН}\cdot\text{м}.$$

Динамічний момент прокатування в другій прокатній кліті дорівнює:

$$M_{dv} = 4,534 \text{ кН}\cdot\text{м}.$$

Потужність прокатування в другій прокатній кліті дорівнює:

$$N_d = 281,814 \text{ кВт}.$$

При прокатуванні в третій прокатній кліті;

- температура обробки дорівнює: $T = 1120^\circ\text{C}$;
- швидкість при прокатуванні дорівнює: $v = 3,96 \text{ м/с}$;
- передаточне відношення редуктора дорівнює: $i = 10,9$;
- діаметр підшипників рідинного тертя дорівнює: $d = 0,25$.

Перед 3-ю прокатною кліттю відбувається кантування розкату.

При прокатуванні в третій прокатній кліті здійснюється абсолютне обтиснення, яке дорівнює:

$$\Delta h = 91,7 - 56,9 = 34,8, \text{ мм}.$$

Відносне обтиснення в третій прокатній кліті дорівнює:

$$\varepsilon = \frac{34,8}{91,7} \cdot 100 = 37,95\%;$$

Швидкість деформації при прокатуванні в третій прокатній кліті:

$$u = v \cdot \frac{\Delta h \cdot H}{\sqrt{R_d \cdot \Delta h}} = 6,595 \text{ 1/с}.$$

Термомеханічні коефіцієнти в третій кліті дорівнюють:

$$k_t = 0,663; k_u = 0,967; k_\varepsilon = 1,325.$$

Середнє значення границі текучості під впливом температури дорівнює:

$$\sigma_t = 68,805 \text{ МПа}.$$

Коефіцієнт тертя дорівнює: $f = 0,261$.

Умовний коефіцієнт тертя прийме значення: $f_i = 0,4$.

Довжина осередку деформації в третій кліті дорівнює: $l_d = 78,261 \text{ мм}.$

					КНУ.РБ.136.26.112с-06.02.ТПВШС	Аркуш
						2.22
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Середня висота розкату в третій кліті:

$$h_c = 0,5 \cdot (91,7 + 56,9) = 74,3 \text{ мм.}$$

Коефіцієнт підпору дорівнює: $n_p = 1,4$; $f_c = 0,461$.

Середній контактний тиск, що діє вертикально на дно калібру дорівнює:

$$P_v = 96,304 \text{ МПа.}$$

Середній контактний тиск, що діє на бічну поверхню калібру дорівнює:

боковий тиск:

$$P_b = 55,763 \text{ МПа.}$$

Горизонтальна проекція бокової поверхні:

$$\frac{h_z}{h_p} = 5 \cdot \left(\frac{B}{b_k} - 1 \right) + 0,0325 \cdot \varepsilon - 0,027 \cdot \varphi + 0,305 = 0,694;$$

Площа горизонтальної проекції бокової поверхні дорівнює:

$$F_b = 535,505 \text{ мм}^2.$$

Повний тиск на валок, що діє в третій прокатній кліті: $P = 369,019 \text{ кН}$.

Коефіцієнт плеча моменту в третій кліті:

$$\Psi = 0,496.$$

Момент, що виникає при прокатуванні в третій кліті:

$$M_{пр} = 28,626 \text{ кН} \cdot \text{м.}$$

Динамічний момент дорівнює:

$$M_{dv} = 6,428 \text{ кН} \cdot \text{м.}$$

Потужність прокатування в третій прокатній кліті: $N_d = 524,772 \text{ кВт}$.

В четвертій прокатній кліті відбувається прокатування прямокутної смуги в овальному калібрі.

Прокатування здійснюється при температурі смуги: $T = 1110^\circ\text{C}$; при швидкості деформації $v = 3,97 \text{ м/с}$.

Діаметр прокатних валків в четвертій прокатній кліті: $D = 400 \text{ мм}$; передаточне відношення редуктора: $i = 5,8$.

При прокатуванні в четвертій кліті здійснюється обтиснення:

$$\Delta h = 56,9 - 34,9 = 22 \text{ мм};$$

					КНУ.РБ.136.26.112с-06.02.ТПВШС	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		2.23

Відносне обтиснення

$$\varepsilon = \frac{22}{56,9} \cdot 100 = 38,66\%;$$

Швидкість деформації в калібрі складає:

$$u = 8,37 \text{ 1/с.}$$

Термомеханічні коефіцієнти дорівнюють в четвертій кліті:

$$k_t = 0,681; k_u = 1,046; k_\varepsilon = 1,383.$$

Середнє значення границі текучості в гарячому стані: $\sigma_t = 79,832 \text{ МПа.}$

Коефіцієнт тертя в четвертій прокатній кліті:

$$f = 0,244.$$

Умовний коефіцієнт тертя в четвертій прокатній кліті дорівнює: $f_i = 0,293.$

Довжина осередку деформації про прокатуванні в четвертій прокатній кліті дорівнює: $l_d = 63,373 \text{ мм.}$

Середня висота розкату:

$$h_c = 0,5 \cdot (56 + 34) = 45 \text{ мм.}$$

Коефіцієнт підпору:

$$n_p = 1,402; f_c = 0,347.$$

Середній контактний тиск, що діє вертикально на дно калібру:

$$P_v = 111,908 \text{ МПа.}$$

Сила прокатування в четвертій прокатній кліті :

$$P = 504,747 \text{ кН.}$$

Коефіцієнт плеча моменту, що виникає в четвертій прокатній кліті:

$$\Psi = 0,5.$$

Момент, необхідний для деформації смуги прокатними валками:

$$M_{пр} = 31,987 \text{ кН}\cdot\text{м.}$$

Динамічний момент дорівнює:

$$M_{dv} = 13,527 \text{ кН}\cdot\text{м.}$$

Потужність прокатування в четвертій прокатній кліті:

$$N_d = 670,234 \text{ кВт.}$$

					КНУ.РБ.136.26.112с-06.02.ТПВШС	Аркуш
						2.24
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

В п'ятій прокатній кліті відбувається прокатування овалу в ребровому овалі.

Температура смуги в п'ятій прокатній кліті дорівнює:

$$T = 1100^{\circ}\text{C}.$$

Швидкість прокатування в п'ятій прокатній кліті дорівнює: $v = 5,6$ м/с.

Діаметр прокатних валків п'ятої кліті: $D = 400$ мм.

Передаточне відношення редуктора: $i = 5,8$.

Абсолютне обтиснення при прокатуванні в п'ятій кліті дорівнює:

$$\Delta h = 83,6 - 51,8 = 31,8 \text{ мм.}$$

Відносне обтиснення:

$$\varepsilon = \frac{31,5}{83,6} \cdot 100 = 38,6\%.$$

Швидкість деформації дорівнює:

$$u = 10,601 \text{ 1/с.}$$

Термомеханічні коефіцієнти дорівнюють:

- впливу температури $k_t = 0,7$;
- впливу швидкості деформації $k_u = 1,04$;
- впливу ступеню деформації $k_\varepsilon = 1,246$.

Середнє значення границі текучості дорівнює: $\sigma_t = 73,439$ МПа.

Коефіцієнт тертя дорівнює : $f = 0,236$.

Умовний коефіцієнт тертя при прокатуванні прийме значення: $f_i = 0,295$.

Довжина осередку деформації в п'ятій прокатній кліті:

$$l_d = \sqrt{R_d \cdot \Delta h} = 50,781 \text{ мм.}$$

Середня висота розкату: $h_c = 0,5 \cdot (H + h) = 45,762$ мм.

$$\text{Коефіцієнт підпору: } n_p = \left(1 - \frac{l}{h_c}\right) + \frac{0,55}{\sqrt{\frac{1}{h_c}}} = 1,294.$$

Середній контактний вертикальний тиск що діє на дно калібру:

$$P_v = 94,999 \text{ МПа.}$$

Сила прокатування в п'ятій прокатній кліті:

$$P = 184,281 \text{ кН.}$$

					КНУ.РБ.136.26.112с-06.02.ТПВШС	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		2.25

Коефіцієнт плеча моменту, який виникає при прокатуванні в п'ятій прокатній кліті: $\Psi = 0,481$.

Момент, необхідний для деформації при прокатуванні: $M_{\text{пр}} = 39,002 \text{ кН}\cdot\text{м}$.

Динамічний момент, що виникає в п'ятій прокатній кліті :

$$M_d = 3,638 \text{ кН}\cdot\text{м}. M_{dv} = 3,82 \text{ кН}\cdot\text{м}.$$

Потужність прокатування в п'ятій кліті дорівнює: $N_d = 299,723 \text{ кВт}$.

В шостій прокатній кліті відбувається прокатування ребрового овалу в овальному калібрі, який розташовано горизонтально.

Температура розкату $T = 1095^\circ\text{C}$; швидкість прокатування в шостій кліті $v = 7,5 \text{ м/с}$; передаточне відношення редуктора $i = 4,5$.

$d = 0,25$ – діаметр ПЖТ.

Абсолютне обтиснення дорівнює:

$$\Delta h = 41,5 - 29,3 = 12,2 \text{ мм}.$$

Відносне обтиснення дорівнює:

$$\varepsilon = \frac{12,2}{41,5} \cdot 100 = 29,4\%.$$

Швидкість деформації в шостій прокатній кліті дорівнює: $u = 13,731 \text{ 1/с}$.

Термомеханічні коефіцієнти, що вказують вплив температури $k_t = 0,71$; швидкості деформації $k_u = 1,041$; ступеню деформації $k_\varepsilon = 1,195$.

Границя текучості матеріалу в гарячому стані: $\sigma_t = 71,481 \text{ МПа}$.

Коефіцієнт тертя в шостій прокатній кліті дорівнює при $k_v = 0,229$:

$$f_i = f \cdot 1,2 = 0,275.$$

Довжина дуги контакту: $l_d = 47,553 \text{ мм}$.

Середня товщина смуги $h_c = 25,657 \text{ мм}$.

Вертикальний контактний тиск, що діє на дно калібру дорівнює:

$$P_v = 100,273 \text{ МПа}.$$

Сила прокатування в шостій прокатній кліті:

$$P = 180,336 \text{ кН}.$$

Коефіцієнт плеча моменту в шостій кліті: $\Psi = 0,456$.

					КНУ.РБ.136.26.112с-06.02.ТПВШС	Аркуш
						2.26
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Момент прокатування дорівнює:

$$M_{\text{пр}} = 7,995 \text{ кН}\cdot\text{м}.$$

Динамічний момент дорівнює:

$$M_{dv} = 4,381 \text{ кН}\cdot\text{м}.$$

Потужність прокатування в шостій прокатній кліті дорівнює:

$$N_d = \frac{M_{dv} \cdot n_{dv}}{9,75} = 315,467 \text{ кВт}.$$

В сьомій прокатній кліті відбувається деформація овального поперечного перерізу в ребровому овалі.

Температура прокатування в сьомій кліті $T = 1090^\circ\text{C}$; швидкість прокатування $v = 9,97 \text{ м/с}$.

Абсолютне обтиснення:

$$\Delta h = 60,3 - 35,7 = 24,6 \text{ мм}.$$

Швидкість деформації при обтисненні дорівнює:

$$u = 17,637 \text{ 1/с}.$$

Границя течії металу в гарячому стані:

$$\sigma_t = \sigma_0 \cdot k_t \cdot k_u \cdot k_\varepsilon = 74,144 \text{ МПа}.$$

Вертикальний тиск по дну калібру:

$$P_v = 93,555 \text{ МПа}.$$

Сила прокатування і сьомій прокатній кліті: $P = 118,082 \text{ кН}$.

Момент деформації в сьомій кліті:

$$M_{\text{пр}} = 2 \cdot P \cdot \Psi \cdot 1 \cdot 0,001 = 4,215 \text{ кН}\cdot\text{м} - \text{момент прокатки}.$$

Далі, відбувається прокатування в дев'ятій, дванадцятій та тринадцятій прокатній кліті. Усі розраховані енергосилові параметри заносимо в таблицю 2.3.

З таблиці видно, що при проході від кліті до кліті температура розкату зменшується, а швидкість прокатування і деформації збільшується. Таке збільшення потрібно для забезпечення постійності секундних об'ємів.

На витрати енергії суттєвий вплив має ступінь обтиснення та розміри розкатів.

					КНУ.РБ.136.26.112с-06.02.ТПВШС	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		2.27

Таблиця 2.3 – Енергосилові параметри прокатування шестикутника

Номер прокатної кліті	Температура смуги, °С	Швидкість обертання прокатних валків n, об/с	Швидкість прокатки, v м/с	Швидкість деформації u, с ⁻¹	Ступінь деформації ε, %	Межа текучості σ _T , МПа	Сила прокатування P, кН
1	1145	108,2	1,96	3,11	22,5	55,7	231,2
2	1135	122,4	2,32	4,9	26,9	60,8	374,9
3	1120	160,6	2,96	6,6	34,8	68,8	369,0
4	1110	216,7	3,97	8,4	38,7	79,8	504,7
5	1100	283,0	5,6	10,6	38,6	80,5	184,3
6	1090	402,0	7,5	13,7	29,4	71,5	180,3
7	1080	542,8	9,97	17,3	40,8	74,1	118,0
8	1070	683,5	12,95	22,5	19,6	68,5	180,1
9	1060	720,0	13,0	22,7	9,6	64,6	165, 2
12	1050	740,9	13,4	28,1	14,7	74,2	173,1
13	1040	802,9	15,0	31,6	16,0	75,5	179,0

Вим.

Арк.

№ докум.

Підпис

Дата

КНУРБ.136.26.112с-06.02.ТПВШС

2.28

Архив

ВИСНОВКИ

В роботі проаналізовано характеристику шестигранного профілю, його призначення та вимоги, що пред'являють до нього. Визначено матеріал для виготовлення профілю та його властивості.

Розглянуто способи виготовлення шестигранного профілю, що має розмір діаметру вписаного кола 26 мм та надано переваги гарячому прокатуванню.

Досліджено обладнання, що дозволяє виготовляти профіль гарячим прокатуванням та надано перевагу дрібносортному прокатному стану ДС 250.

Визначено принцип дії прокатного стану, будову робочих клітей та прокатних валків, які забезпечують пластичну деформацію матеріалу.

Визначено початковий матеріал для виготовлення шестигранного профілю з розміром вписаного кола 26 мм в якості якого пропонується використовувати безперервно-литу заготовку 80x80 мм, що отримано на машині безперервної розливки сталі радіального типу.

Визначено послідовність технологічних операцій, які дозволяють отримати вірний шестигранний профіль заданої форми та розміру з мінімальними відхиленнями. Визначено розташування калібрів.

Визначено температурний режим прокатування, де видно, що температура розкату зменшується при проходженні від кліті до кліті.

Визначено швидкісний режим прокатування, де видно, що швидкість обробки збільшується при проходженні від кліті до кліті та забезпечує постійність секундних об'ємів.

Визначено зусилля прокатування, де видно, що на нього суттєвий вплив має величина обтиснення та ступінь деформації.

					КНУ.РБ.136.26.112с-06.В					
Вим.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата	ВИСНОВКИ					
Розробив	Кузьменко							Літ.	Аркуш	Аркушів
Перевірив	Чубенко								1	1
Рецензент								Кафедра МЧМЛВ гр. МТ-23-1ск		
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. Данченко В.М., Гринкевич В.О., Головка О.М. Теорія процесів обробки металів тиском: підручник. Дніпропетровськ: Пороги, 2008. 372 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. Чубенко В.А., Хіноцька А.А. Технологія процесів обробки металів тиском: навчальний посібник. Кривий Ріг: Видавець Чернявський Д.О., 2020. 208 с.
9. Чубенко В.А., Хіноцька А.А. Дослідження об'ємноструктурних і енергетичних перетворень в сталях при прокатуванні: монографія. Кривий Ріг: Видавництво ФОП Чернявський Д.О., 2018. 178 с.

					КНУ.РБ.136.26.112с-06.Л					
Вим.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата	ЛІТЕРАТУРА					
Розробив	Кузьменко							Літ.	Аркуш	Аркушів
Перевірив	Чубенко								1	3
Рецензент								Кафедра МЧМЛВ гр. МТ-23-1ск		
Н. контр.	Чубенко									
Затвердив	Бабошко									

10. Бережний 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.

11. Бережний М.М., Чубенко В.А., Хіноцька А.А., Глінкин А.В. Час перебування металу в осередку деформації та утворення нової поверхні. *Вісник КНУ: зб. наук. пр. Кривий Ріг*, 2012. Вип. 30. С. 171–174.

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

13. Серeda Б. П. Прокатне виробництво: навч. посіб. Запоріжжя: ЗДІА, 2009. 344 с.

14. Серeda Б. П., Кругляк І. В., Жеребцов О. А., Белоконь Ю. О. Обробка металів тиском при нестационарних температурних умовах: монографія. Запоріжжя: ЗДІА, 2009. 250 с.

15. Афганділянц Є.Г., Зазимко О.В., Лопатько К.Г. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство. Частина 1. Металургія. Видавничий центр НАУ, 2005. 115 с.

16. Афганділянц Є.Г., Зазимко О.В., Лопатько К.Г. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство. Частина 2. Металознавство. Видавничий центр НАУ, 2006. 386 с.

17. Бережний М.М., Хіноцька А.А. Паливо та металургійні печі: монографія. Кривий Ріг: Діонат, 2012. 380 с.

18. Мохорт А.В., Чумак М.Г. Термічна обробка металів: навч. посібник для учнів проф.-техн. навч. закладів. Київ: Либідь, 2002. 512 с. ISBN 966-06-0212-X.

19. Серeda Б.П. Металознавство та термічна обробка чорних та кольорових металів: підручник для студ. вищих навч. закл.. Запоріжжя: Запорізька держ. інженерна академія, 2008. 302 с. ISBN 978-966-8462-03-0.

20. Максименко О.П., Штода М.М., Нікулін О.В. Основи калібровки прокатних валків: навчальний посібник. Кам'янське: ДДТУ, 2023. 156 с.

					КНУ.РБ.136.26.112с-06.Л	Аркуш
						2
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

21. Ніколаєв В.О. Калібрування прокатних валків: навчальний посібник. Запоріжжя: ЗГИА. 2015. 163с.

22. Серета Б.П., Белоконь Ю.О. Теорія прокатки: навчально-методичний посібник для студентів ЗДІА спеціальності 6.05040104 «Обробка металів тиском». Запоріжжя: ЗДІА, 2013. 105 с.

23. <http://akademperiodyka.org.ua/docs/Posylannia>.

24. СТОУ-02-14. Загальні вимоги та правила оформлення текстових та графічних студентських магістерських робіт. Кривий Ріг: КНУ, 2014. 18 с.

					КНУ.РБ.136.26.112с-06.Л	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		3