

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: «ДОСЛІДЖЕННЯ ТА РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ
ВИГОТОВЛЕННЯ КРУГЛОГО ПРОКАТУ ДІАМЕТРОМ 20 мм
З БЕЗПЕРЕРВНО-ЛИТОЇ ЗАГОТОВКИ»**

Виконав:

студент групи МТ-23-1ск _____ Микола БЕРДНИК

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

Бердник Микола Геннадійович1. **Тема роботи:** Дослідження та розробка технології виготовлення круглого прокату діаметром 20 мм з безперервно-ливої заготовки**керівник роботи:** к.т.н., доцент Чубенко Вікторія Анатоліївназатверджено наказом по КНУ від « 19 » 02 2026 р. № 112с2. **Строк подання роботи студентом** « 01 » 06 2026 р.3. **Вихідні дані до роботи:** прокатний стан ДС 250; хімічний склад та механічні властивості Сталі 20; початковий розмір квадратної заготовки 80×80 мм, довжина 11 м; температура нагріву 1180 °С; термічна обробка: нагрівання при температурі 900 °С; граничне відхилення для круглої сталі – $20_{-0,3}^{+0,2}$.4. **Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)**

1. Аналіз виробництва та застосування круглого прокату 20 мм: загальна характеристика; матеріал для виготовлення круглого прокату; способи виготовлення; обладнання для прокатування.

2. Розробка технології виготовлення круглого прокату 20 мм з безперервно-ливої заготовки: технологічні операції; калібрування прокатних валків; визначення режимів обтиснення; розрахунок продуктивності стану; розрахунок енергосилових параметрів для виготовлення сталевих прокату діаметром 20 мм.

5. **Перелік графічного матеріалу**

Загальна характеристика круглого прокату діаметром 20 мм. Характеристика матеріалу для виготовлення круглого прокату. Гаряче прокатування профілю. Послідовність технологічних операцій. Калібри для отримання виробу круглого поперечного перерізу. Режими обробки для отримання сталевих круглого прокату.

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 застосування круглого прокату: класифікація, матеріал для виготовлення, призначення	09.02-25.02.2026
4	Способи виготовлення круглого профілю; прокатування профілю; обладнання для прокатування	26.02-10.03.2026
5	Розробка технології виготовлення круглого прокату діаметром 20 мм з безперервно-литої заготовки: технологічні операції.	11.03-10.04.2026
6	Калібрування прокатних валків; визначення режимів обтиснення.	11.04-30.04.2026
7	Розрахунок енергосилових параметрів для виготовлення сталевого прокату	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	25.06.2026

Дата видачі завдання « 19 » 02 2026 р.

Здобувач вищої освіти _____ Микола БЕРДНИК
(підпис)

Керівник випускної кваліфікаційної роботи _____ Вікторія ЧУБЕНКО
(підпис)

РЕФЕРАТ

до випускної кваліфікаційної роботи на тему:

«Дослідження та розробка технології виготовлення круглого прокату діаметром 20 мм з безперервно-ливої заготовки»

Пояснювальна записка: 58 стор., 4 табл., 11 рис., 21 літературні джерела.

Об'єкт дослідження: виробництво круглого прокату

Предмет дослідження: технологія виготовлення круглого прокату діаметром 20 мм з безперервно-ливої заготовки.

Мета роботи: розробити удосконалену технологію виготовлення круглого прокату діаметром 20 мм.

Методи дослідження: використовувався теоретичний аналіз та практичні розрахунки процесу виготовлення сталевого прокату круглого поперечного перерізу діаметром 20 мм. Застосовувалися розрахунки калібрування прокатних валків, режимів обтиснень та зусиль при прокатуванні на дрібносортовому прокатному стані.

Результати роботи: досліджено способи виготовлення довгомірного виробу круглого поперечного перерізу розміром 20 мм з безперервно-ливої заготовки, визначено послідовність операцій та необхідне обладнання для отримання заданого профілю, розраховано калібрування прокатних валків, режими обтиснення, витрати зусиль та моментів.

БЕЗПЕРЕРНО-ЛИТА ЗАГОТОВКА, КРУГЛИЙ ПРОКАТ,
ДРІБНОСОРТОВИЙ ПОКАТНИЙ СТАН, РЕЖИМИ ОБТИСНЕННЯ

					КНУ.РБ.136.26.112с-02.Р					
Вим.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата	РЕФЕРАТ					
Розробив	Бердник							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																									
							№ строки																								
1																															
2	A4	КНУ.РБ.136.26.112с-02.ПЗ	Пояснювальна записка	58																											
3																															
4			Графічна частина																												
5			(Презентація)																												
6	A4	КНУ.РБ.136.26.112с-02.01	Загальна характеристика круглого																												
7			прокату діаметром 20 мм	1																											
8	A4	КНУ.РБ.136.26.112с-02.02	Матеріал для виготовлення																												
9			круглого прокату Ø 20 мм	1																											
10	A4	КНУ.РБ.136.26.112с-02.03	Гаряче прокатування профілю	1																											
11	A4	КНУ.РБ.136.26.112с-02.04	Послідовність технологічних																												
12			операцій	1																											
13	A4	КНУ.РБ.136.26.112с-02.05	Калібри для отримання виробу																												
14			круглого поперечного перерізу	1																											
15	A4	КНУ.РБ.136.26.112с-02.06	Результати розрахунку																												
16			калібрування	1																											
17	A4	КНУ.РБ.136.26.112с-02.07	Режими обробки для отримання																												
18			сталевого круглого прокату	1																											
19																															
20																															
21																															
22																															
23																															
24																															
КНУ.РБ.136.26.112с-02.В0																															
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Изм.</th> <th>Лист</th> <th>№ докум.</th> <th>Подп.</th> <th>Дата</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Разрад.</td> <td></td> <td>Бердник</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Проб.</td> <td></td> <td>Чуденко</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Н.контр.</td> <td></td> <td>Чуденко</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Утв.</td> <td></td> <td>Бабашко</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>							Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Разрад.		Бердник			Проб.		Чуденко			Н.контр.		Чуденко			Утв.		Бабашко		
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата																											
Разрад.		Бердник																													
Проб.		Чуденко																													
Н.контр.		Чуденко																													
Утв.		Бабашко																													
Відомість об'єму матеріалів кваліфікаційної роботи Чертеж общего вида				<table border="1"> <thead> <tr> <th>Лит.</th> <th>Лист</th> <th>Листов</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>р д </td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> </tbody> </table>			Лит.	Лист	Листов	р д	1	1																			
Лит.	Лист	Листов																													
р д	1	1																													
				кафедра МЧМ/В група МТ-23-1сх																											
Копировал				Формат А4																											

ЗМІСТ

	Стор.
РЕФЕРАТ.....	4
ВІДОМІСТЬ МАТЕРІАЛІВ.....	5
ВСТУП.....	7
1 АНАЛІЗ ВИРОБНИЦТВА ТА ЗАСТОСУВАННЯ КРУГЛОГО ПРОКАТУ 20 мм.....	8
1.1 Загальна характеристика круглого прокату діаметром 20 мм.....	8
1.2 Матеріал для виготовлення круглого прокату.....	11
1.3 Способи виготовлення круглого профілю.....	12
1.4 Прокатування профілів.....	14
1.5 Обладнання для прокатування.....	17
2 РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ КРУГЛОГО ПРОКАТУ ДІАМЕТРОМ 20 мм.....	26
2.1 Послідовність технологічних операцій для виготовлення круглого прокату діаметром 20 мм з безперервно-ливої заготовки.....	26
2.2 Калібрування прокатних валків для отримання круглого прокату діаметром 20 мм з безперервно-ливої заготовки 80×80 мм.....	27
2.3 Визначення режимів обтиснення.....	40
2.4 Розрахунок силових параметрів прокатування для виготовлення сталевого прокату діаметром 20 мм.....	43
ВИСНОВКИ.....	56
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	57

					КНУ.РБ.136.26.112с-02.3			
Вим.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата	ЗМІСТ	Літ.	Аркуш	Аркушів
Розробив	Бердник						1	1
Перевірив	Чубенко							
Рецензент								
Н. контр.	Чубенко					Кафедра МЧМЛВ гр. МТ-23-1ск		
Затвердив	бабошко							

ВСТУП

Сталевий прокат круглого поперечного перерізу користується попитом в багатьох галузях народного господарства: будівництві, машинобудуванні, сільському господарстві, побуту тощо. Особливу увагу приділяють процесам його виготовлення, де перевага надається гарячому прокатуванню. Процеси прокатування постійно удосконалюються за рахунок визначення раціональних режимів обтиснення, які забезпечують отримання виробу потрібної форми та розмірів за мінімальну кількість проходів, що дозволяє підвищити продуктивність прокатного стану. Останнім часом перевага надається безперервно-литим заготовкам для виготовлення сортового прокату. Безперервна розливка сталі має ряд переваг над дискретною через те, що існує можливість уникнути складного обтискного обладнання, зменшити виробничі площі, отримати більш якісну заготовку. Тому, дослідити та розробити технологію виготовлення круглого прокату діаметром 20 мм з безперервно-ливої заготовки є задача актуальна.

Мета роботи розробити удосконалену технологію виготовлення круглого прокату діаметром 20 мм.

Для досягнення мети необхідно розв'язати наступні задачі:

- дослідити способи виготовлення та матеріал для отримання виробу круглого поперечного перерізу 20 мм;
- визначити обладнання для отримання круглого прокату діаметром 20 мм та проаналізувати його будову та принцип дії;
- визначити послідовність технологічних операцій для отримання виробу круглого поперечного перерізу 20 мм та початковий матеріал;
- розрахувати калібрування для отримання вірного профілю за мінімальну кількість проходів;
- визначити режими обтиснення при гарячому прокатуванні;
- розрахувати витрати сил та моментів.

					КНУ.РБ.136.26.112с-02.ВС					
Вим.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата	ВСТУП					
Розробив	Бердник							Літ.	Аркуш	Аркушів
Перевірив	Чубенко								1	1
Рецензент								Кафедра МЧМЛВ гр. МТ-23-1ск		
Н. контр.	Чубенко									
Затвердив	Бабошко									

1 АНАЛІЗ ВИРОБНИЦТВА ТА ЗАСТОСУВАННЯ КРУГЛОГО ПРОКАТУ 20 мм

1.1 Загальна характеристика круглого прокату діаметром 20 мм

Круглий прокат, що має діаметр 20 мм – це гарячекатаний сортовий виріб суцільного круглого поперечного перерізу (рис. 1.1). Такий виріб відноситься до довгомірного прокату. Довжина такого виробу, як правило, дорівнює 6 метрів, але може бути від 2 м до 12 м. Він виробляється відповідно до стандартів ДСТУ 7809:2015/ГОСТ 2590-2006. Вага 1 погонного метра приблизно дорівнює 2,47 кг. Класи точності В1-В5.



Рисунок 1.1 – Загальний вигляд прокату круглого поперечного перерізу

					КНУ.РБ.136.26.112с-02.01.АВЗКП					
Вим.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата	АНАЛІЗ ВИРОБНИЦТВА ТА ЗАСТОСУВАННЯ КРУГЛОГО ПРОКАТУ 20 мм					
Розробив	Бердник							Літ.	Аркуш	Аркушів
Перевірив	Чубенко								1.1	18
Рецензент								Кафедра МЧМЛВ гр. МТ-23-1ск		
Н. контр.	Чубенко									
Затвердив	Бабощко									

Сталевий круглий прокат має універсальну геометричну форму поперечного перерізу, підвищену конструктивну жорсткість та поліпшену оброблюваність матеріалу. Все це робить сталевий круглий прокат одним з найбільш затребуваним видом продукції. Круглий прокат може використовуватися як готовий виріб, а може бути в якості напівфабрикату для виготовлення різних виробів. З нього можна створювати машини, агрегати та конструкції з високими техніко-економічними показниками.

Круглий прокат має переваги над іншими профілями через те, що обумовлює високу міцність до крутіння та згинання; зводить до мінімуму відходи металу та трудові витрати при отриманні виробів, що мають вісь обертання, досить спрощують транспортування та складування як на великих логістичних терміналах, так і на дрібних ділянках.

Використовується круглий профіль в багатьох галузях промисловості: в машинобудуванні, будівництві, верстатобудуванні, сільському господарстві, суднобудуванні, в побуті

В машинобудівній промисловості сталевий круг використовують для виготовлення болтів, муфт, штуцерів, патрубків, валів. Його застосовують для отримання конструктивних елементів машин та агрегатів, для виготовлення інструментального оснащення та прес-форм. З нього виготовляють різні опори, шарніри тощо. Часто використовують для власних ремонтно-експлуатаційних робіт, для модернізації обладнання та агрегатів.

В будівництві використовують круглий прокат для виготовлення елементів конструкцій, для перекриття. Круглий профіль отримав широке використання при зведенні об'єктів промислового, торговельного, технічного, військового та побутового призначення. Круглий профіль можна використовувати в якості гладкої арматури та закладних елементів, для створення захисних і бар'єрних огорожень на терасах, балконах, сходах. В такого профілю отримують надійні та міцні опори для мостів та парканів, платформ і будівельних лісів.

В верстатобудуванні використовують для виготовлення валів, осей тощо.

					КНУ.РБ.136.26.112с-02.01.АВЗКП	Аркуш
						1.2
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

В сільському господарстві широке розповсюдження знайшли вироби з вуглецевих, низьколегованих та легованих сплавів, що мають підвищену стійкість до корозії. Такі круглі профілі використовують для виготовлення деталей та елементів зрошувальних устаткувань, збиральних і ґрунтообробних машин та агрегатів. З круглого прокату можна виготовляти різні конструкції сушарок для сіна та зерна, зерносховищ, теплиці, тваринницькі комплекси.

Довгомірний виріб круглого поперечного перерізу широко використовують в суднобудуванні для посилення корпусної обшивки та елементів перегородок, для створення леєрного огороження, виготовляють якірні штоки, різні швартувальні устаткування річкових та морських судів. Використовують для виготовлення деталей буксорівальних і рульових пристроїв устаткувань, вантажних і рятувальних устаткувань.

З круглого прокату виготовляють різні металоконструкції: навісні, купольні, аркові. Використовують для створення металоконструкцій естакад, сходових маршів, оглядових майданчиків, естакад, виставкових та торгівельних павільйонів.

Круглий прокат має ряд переваг в порівняно з іншим видом прокату. Завдяки його універсальній формі, виріб легко піддається термічній обробці. Його легко складувати на стелажах та пачками, перевозити автомобільним та залізничним транспортом.

Класифікація сталевих кругів за якістю обробки:

В залежності від якості обробки круглий прокат має декілька класів точності, які визначають його службові характеристики, впливають на вартість та цільове призначення. Класифікація відбувається відповідно стандарту ДСТУ 4738/ГОСТ 2590 на круг звичайної точності, високої точності і особливо високої точності.

Круг звичайної точності – це металопрокат класів В1...В5.

Високої точності – класи А1...А3.

Особливо високої точності А01.

					КНУ.РБ.136.26.112с-02.01.АВЗКП	Аркуш
						1.3
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.2 Матеріал для виготовлення круглого прокату

Враховуючи різноманітну сферу застосування круглого профілю. Він може виготовлятися з різних матеріалів.

Для виготовлення круглого профілю широко застосовують вуглецеву сталь: низько-, середньо- і високовуглецеві марки. Конструкційні вуглецеві сталі використовують для виготовлення прокату загального призначення. Вони мають добру оброблюваність різальним інструментом, добре зварюються, добрі механічні та міцності властивості. До таких матеріалів відносять наступні марки: звичайної якості Ст3...Ст5, киплячі, спокійні та напівспокійні; якісні сталі марок Сталь 10, Сталь 20, Сталь 25...Сталь 75, Сталь 85.

Вуглецеві сталі марок У7, У7А, У8, У8А, У9, У9А, У10, У10А використовують при виготовленні круглого прокату, що здатний працювати при підвищених температурах і мають добру зносостійкість та високу твердість.

Широко використовують для виготовлення круглого прокату низьколеговані сталі марок: 20Х, 09ГС2, 30Х, 40Х, 60С2, 65Г. Такі сталі мають не більше 25 % легованих елементів через, що мають високі службові якості, добру стійкість до утворення тріщин.

Широко розповсюджені середньолеговані сталі марок 12Х2Н4А, 12ХН2, 12ХН3А, 18ХГТ, 20ХН, 30ХМА, 20Х1М1Ф1ТР. Вони мають частку легованих елементів від 2,5 до 10 %. Серед таких матеріалів є конструкційні сталі та сплави спеціального призначення, які мають високу корозійну стійкість, жароміцність, релаксаційну сталь.

Використання високолегованих марок сталей: 12Х8ВФ, 12Х13, 20Х13, 03Х13Н8Д2ТМ, 12Х25Н16Г7АР, 09Х16Н4Б, ХН78Т, 4Х18Н25С2, Х18СЮ, 4Х14Н14В2М, Х23Н13, 4Х9С2 обмежене через те, що вони відносяться до ввжкооброблюваних матеріалів, важкозварювальних, досить дорогавартісних.

Для отримання круглого профілю, що має діаметр поперечного перерізу будемо використовувати конструкційну низьковуглецеву якісну сталь марки Сталь 20.

					КНУ.РБ.136.26.112с-02.01.АВЗКП	Аркуш
						1.4
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Така сталь характеризується високою пластичністю, в'язкістю, доброю зварюваністю. Добре піддається пластичній деформації в гарячому стані, Такий матеріал добре піддається механічній обробці, не схильний до відпускнуою крихкості, добре піддається термічній обробці – цементації; має середню міцність. Такий матеріал використовується для отримання виробів, які працюють під помірними навантаженнями при температурі від -40 до 450°C. Сталь 20 є нефлокеночутливою, має відмінну релаксійну стійкість. Така сталь широко використовується в будівництві, машинобудуванню, верстатобудуванню, в енергетиці. Широко розповсюджена для виготовлення сортопрокатних виробів.

Хімічний склад сталі 20 у відповідності до стандарту ГОСТ 1050/ ДСТУ 7809 наведено в табл. 1.1.

Таблиця 1.1 – Хімічний склад сталі 20, %

C	Si	Mn	S	Ni	P	Cu	Cr	As
0,17- 0,24	0,17- 0,37	0,35- 0,56	не більше 0,035	не більше 0,3	не більше 0,03	не більше 0,3	не більше 0,25	не більше 0,08

Механічні властивості сталі 20:

межа плинності $\sigma_T=210$ Н/мм²;

тимчасовий опір $\sigma_B=380$ Н/мм²;

відносне подовження – не менше 25%;

відносне звуження – не менше 55 %.

1.3 Способи виготовлення круглого профілю

Круглий прокат виготовляють декількома способами: гарячим прокатуванням, холодним прокатуванням, куванням, штампуванням, волочінням.

					КНУ.РБ.136.26.112с-02.01.АВЗКП	Аркуш
						1.5
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Самий розповсюджений спосіб – це гаряче прокатування, який полягає у тому, що початковий матеріал, до якого відносять заготовку, отриману з дискретного злитку, або безперервно-литу заготовку, подають на нагрівання у методичну піч з подальшим прокатуванням на сортопрокатному стані, де заготовка проходить через прокатні кліти у яких здійснюється обтиснення з метою отримання необхідної форми та розмірів. Після чого відбувається розрізання, охолодження на холодильнику.

Холодне прокатування полягає у тому, що отримуються виріб без попереднього нагрівання. Обробка здійснюється при кімнатній температурі, в результаті чого отримують холоднокатаний або холоднотягнутий калібрований пруток круглого поперечного перерізу, розміри якого знаходяться в межах від 3 мм до 100 мм. така обробка дозволяє отримати виріб високої точності, з високою чистотою зовнішньої поверхні та мінімальною кривизною. Але такий вид обробки використовують для дрібних або легкодеформуємих профілів.

Кування використовують для отримання виробів круглого поперечного перерізу, що має розміри від 40 мм до 200 мм. Така обробка здійснюється за допомогою машинної технології, де використовують гідравлічні молоти і преси. Отриманий виріб характеризується високою однорідністю та міцністю металу, але при цьому має досить задовільну якість поверхневого шару та достатню овальність профілю.

Волочіння круглого профілю має позитивні результати при отриманні дуже дрібних профілів, де діаметр круга менше 5 мм, при обробці легкодеформуємих матеріалів, при отриманні складних профілів.

Для отримання сталевого круглого профілю діаметром 20 мм з безперервно-ливої заготовки будемо використовувати будемо використовувати процес гарячого прокатування, який забезпечити отримання виробу точного розміру, потрібного профілю, доброї якості при мінімальних витратах.

					КНУ.РБ.136.26.112с-02.01.АВЗКП	Аркуш
						1.6
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.4 Прокатування профілів

Прокатування – це процес пластичної деформації оброблюваного матеріалу прокатними валками, завдяки чому отримується виріб заданої форми і розмірів.

Процес прокатування здійснюється завдяки наявності сил тертя, що втягують початковий матеріал в щілину, яка знаходиться між прокатними валками.

В результаті прокатування здійснюється обтиснення матеріалу прокатними валками, внаслідок чого здійснюється зменшення висоти та розширення оброблюваної смуги, при цьому відбувається подовження матеріалу.

В результаті прокатування отримується безліч різноманітних виробів за формою, розмірами, точністю.

Усі ці велику кількість можна розділити на чотири класи: сортовий прокат, листовий, трубний, спеціальні профілі.

Круглий прокат, що має діаметр 20 мм, відноситься до сортового прокату.

Увесь сортовий прокат можна розділити за крупністю на: крупносортовий, середньосортовий та дрібносортовий.

Крупносортовий має розміри в поперечному перерізі понад 80 мм, середньосортовий має розміри в поперечному перерізі від 30 мм до 100 мм і дрібносортовий прокат має розміри поперечного перерізу від 10 мм до 40 мм. Також існує вид сортового прокату, що має назву катанка, яка має розміри від 5 до 10 мм.

Круглий прокат, що має діаметр 20 мм, відноситься до дрібносортового прокату.

Усі процеси прокатування можна класифікувати за декількома ознаками: за взаємним розміщенням інструменту та оброблюваного матеріалу: за температурою обробки; за симетричністю процесу: за взаємодією зовнішніх сил.

					КНУ.РБ.136.26.112с-02.01.АВЗКП	Аркуш
						1.7
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

За взаємним розташуванням інструменту та матеріалу процеси прокатування можна поділити на поздовжнє, поперечне та поперечно-гвинтове.

Поперечне прокатування характеризується тим, що осі інструменту та оброблюваного матеріалу розташовані паралельно. При цьому прокатні валки обертаються в один бік, а оброблюваний матеріал у інший. Такий вид обробки застосовують для виготовлення тіл обертання.

Про поперечного гвинтовому прокатуванні осі інструменту та оброблюваного матеріалу розташовують під деяким кутом. Інструмент при такій обробці має обертальний рух, а оброблюваний матеріал і обертальний і поступальний рух. Такий процес застосовується для утворення отворів у суцільному матеріалі, при утворенні гвинтової поверхні тощо.

При поздовжньому прокатуванні осі інструменту перпендикулярні до осей оброблюваного матеріалу (рис. 1.2). Інструмент має обертальний рух, де прокатні валки обертаються в різні боки, а оброблюваний матеріал рухається поступально.

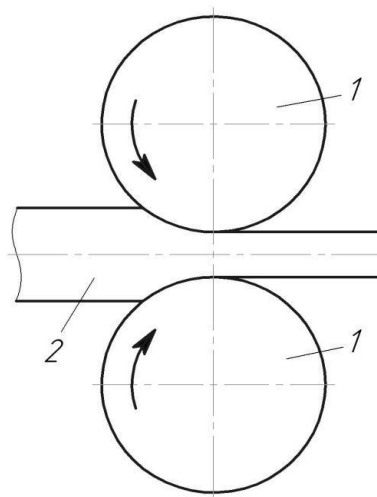


Рисунок 1.2 – Схема поздовжнього прокатування:

1 – прокатні валки; 2 – обробляється матеріал

Круглий прокат діаметром 20 мм будемо виготовляти поздовжнім прокатуванням, як і більшість сортових профілів.

					КНУ.РБ.136.26.112с-02.01.АВЗКП	Аркуш
						1.8
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

За температурою обробки усі процеси класифікують на гаряче та холодне прокатування.

Холодне прокатування використовується для обробки матеріалів, які мають високу пластичність, або дрібні розміри. Такий вид обробки широко використовується для отримання тонких листів.

Гаряче прокатування використовують в більшості випадку процесів прокатування, де перед обробкою виконують нагрівання матеріалу до визначеної температури, яка залежить від хімічного складу сталі. процес гарячого прокатування показано на рис. 1.3, де видно рух металу в нагрітому стані по рольгангам обладнання.

Для отримання круглого сортового прокату діаметром 20 мм з безперервно-литої заготовки будемо використовувати гаряче прокатування.

Гаряче прокатування круглого профілю, що має діаметр поперечного перерізу 20 мм, відбувається в симетрично розташованих прокатних валках, через це процес вважається симетричним.



Рисунок 1.3 – Гаряче прокатування

					КНУ.РБ.136.26.112с-02.01.АВЗКП	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		1.9

1.5 Обладнання для прокатування

Для прокатування виробів використовують відповідне обладнання, що мають назву прокатних станів.

Прокатний стан уявляє собою комплекс машин і механізмів, що забезпечують отримання виробів заданої форми та розмірів завдяки здатності металів до пластичної деформації.

Прокатні стани класифікують за декількома ознаками: за призначенням, за принципом дії, за температурою обробки, за кількістю робочих клітей, за кількістю прокатних валків у робочий кліті.

За призначенням прокатні стани класифікують в залежності від виду отриманої продукції на сортові прокатні стани, листові, трубопрокатні агрегати, спеціальні прокатні стани.

Для отримання сортового прокату діаметром 20 мм будемо використовувати сортовий прокатний стан.

Усі сортові прокатні стани, в свою чергу, поділяють на крупносортові, середньосортові, дрібносортові. Для отримання сортового прокату 20 мм будемо використовувати дрібносортовий прокатний стан.

В залежності від температури прокатування прокатні стани можуть служити для гарячого та холодного прокатування. Перед гарячим прокатуванням початковий матеріал нагрівається до високої температури, яка залежить від марки оброблюваного матеріалу, і складає, приблизно, 1100-1250°C. Таке нагрівання матеріалу відбувається з метою зменшення опору пластичній деформації, яка здійснюється під час прокатування. Широко розповсюджено для сталевих сортових виробів.

Холодне прокатування здійснюється без попереднього нагрівання матеріалу. використовується для м'яких матеріалів та дрібних виробів, широко використовується при прокатуванні тонких листів.

Для отримання круглого прокату діаметром 20 мм будемо використовувати процес гарячого прокатування.

					КНУ.РБ.136.26.112с-02.01.АВЗКП	Аркуш
						1.10
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

За кількістю прокатних клітей прокатні стани класифікують на одноклітьові та багатоклітьові.

Одноклітьові прокатні стани використовують для отримання крупногабаритних виробів, типу блюми та сляби, або для отримання товстих смуг та листів.

Багатоклітьові прокатні стани широко використовують отримання сортового прокату, деякі стани використовують при виробництві труб, інколи багатоклітьові прокатні стани використовують при прокатуванні листів та штрипсу.

Для отримання середньосортового круглого прокату, що має діаметр поперечного перерізу 20 мм, будемо використовувати багатоклітьовий прокатний стан.

За кількістю прокатних валків в робочій кліті прокатні стани класифікують на двовалкові, тривалкові, чотиривалкові, шестивалкові, дванадцятивалкові, двадцятивалкові.

Двовалкові мають два робочих валка в прокатній кліті (рис. 1.4, *a*). Мають найбільше розповсюдження. Використовуються для виготовлення сортової продукції, деякої листової, інколи трубної продукції.

Тривалкові робочі кліті (рис. 1.4, *б*) використовують для прокатування листової сталі, або сортової. Такі робочі кліті не мають широкого розповсюдження через низьку продуктивність при оброці.

Чотиривалкові прокатні кліті (рис. 1.4, *в*) мають в своєму складі два робочих прокатних валка та два опорних. Опорні валки служать для підвищення жорсткості робочих. Широко використовують для отримання листів та смуг.

Шестивалкові та дванадцятивалкові (рис. 1.5) робочі кліті мають в своєму складі два робочих прокатних валка, а останні опорні, які служать для підвищення жорсткості робочих. Шестивалкові робочі кліті використовують рідко, дванадцятивалкові – використовують для отримання тонких листів холодним прокатуванням.

					КНУ.РБ.136.26.112с-02.01.АВЗКП	Аркуш
						1.11
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

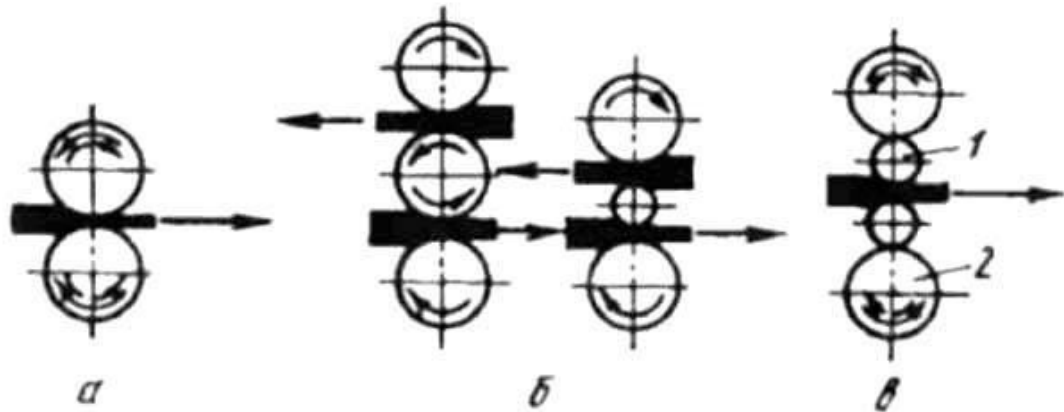


Рисунок 1.4 – Розташування прокатних валків у робочій кліті:

a – двовалкові прокатні кліті; *б* – тривалкові прокатні кліті;

в – чотиривалкові прокатні кліті

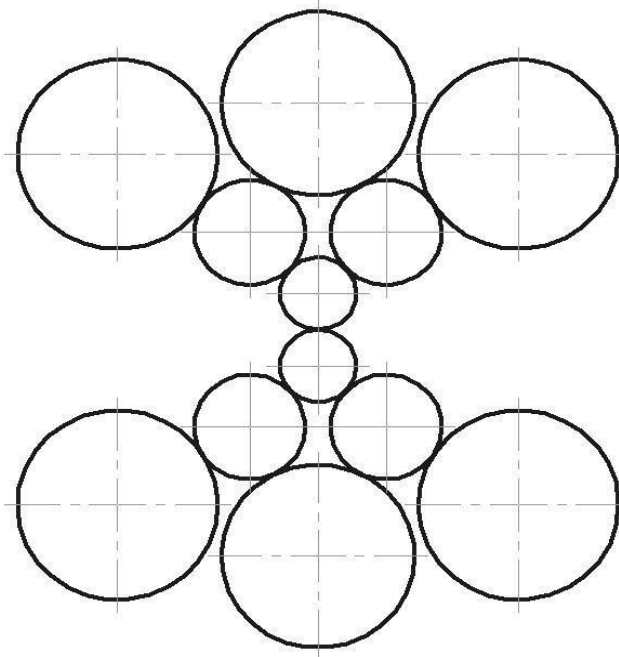


Рисунок 1.5 – Дванадцятивалкова робоча кліть

Для отримання сталевого круглого прокату розміром в поперечному перерізі 20 мм перевага надається двовалковим прокатним станам.

За принципом дії усі прокатні стани класифікують на реверсивні, безперервні, та напівбезперервні.

Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Реверсивні прокатні стани – це ті прокатні стани, які мають рух в прямому та зворотному напрямку. До таких прокатних станів відносять одно-, або двоклітьове обладнання. Їх с успіхом використовують у том випадку, коли потрібно виконати великі обтиснення: на блюмінгах, слябінгах, при отриманні товстих листів та смуг. Такі прокатні стани мають малу швидкість обробки і, відповідно, низьку продуктивність.

Безперервні прокатні є високопродуктивним сучасним обладнанням. Це багатьклітьові прокатні стани, до оброблюваний матеріал одночасно деформуються в декількох прокатних клітях. Такі прокатні стани мають велику швидкість обробки, причому, швидкість обробки збільшується при проході від чорнових до чистових прокатних клітей. При роботі на таких прокатних станах потрібно дотримуватися принципу безперервності: постійності секундних об'ємів, тобто за одну секунду повинен проходити один і той же об'єм матеріалу в кожній прокатній кліті. Порушення цієї умови може призвести до утворення петлі, або зайвого натяжіння. Такі стани використовують при отриманні дрібносортових профілів, при прокатуванні листів, деяких труб тощо. Безперервні прокатні стани мають ряд переваг в порівнянні з іншими: висока продуктивність, точні розміри отриманих виробів, висока якість оброблюваної поверхні, можливість автоматизації.

Напівбезперервні прокатні стани мають реверсивну групу клітей і безперервну. Реверсивна група таких прокатних станів – це чорнова група клітей, де здійснюються великі обтиснення оброблюваного матеріалу, безперервна – це чистова група прокатних клітей, що забезпечує отримання точного профілю. Це листові прокатні стани, крупносортові тощо.

При виготовлення дрібносортового круглого профілі діаметром 20 мм надаємо перевагу безперервному прокатному стану.

До складу прокатного стану входить основне та допоміжне обладнання.

Основне обладнання – це те обладнання, яке забезпечує пластичну деформацію матеріалів при обробці для надання потрібних розмірів та форми

					КНУ.РБ.136.26.112с-02.01.АВЗКП	Аркуш
						1.13
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

обробляємим матеріалам. Допоміжне обладнання – забезпечує виконання пластичної деформації оброблюваних матеріалів.

До складу основного обладнання відносять робочі кліті, шпинделі, шестеренна кліть, головна, корінні та моторні муфти, електричний двигун, редуктор. На рисунку 1.6 показано схему головної лінії прокатного стану, яка складається з основного обладнання.

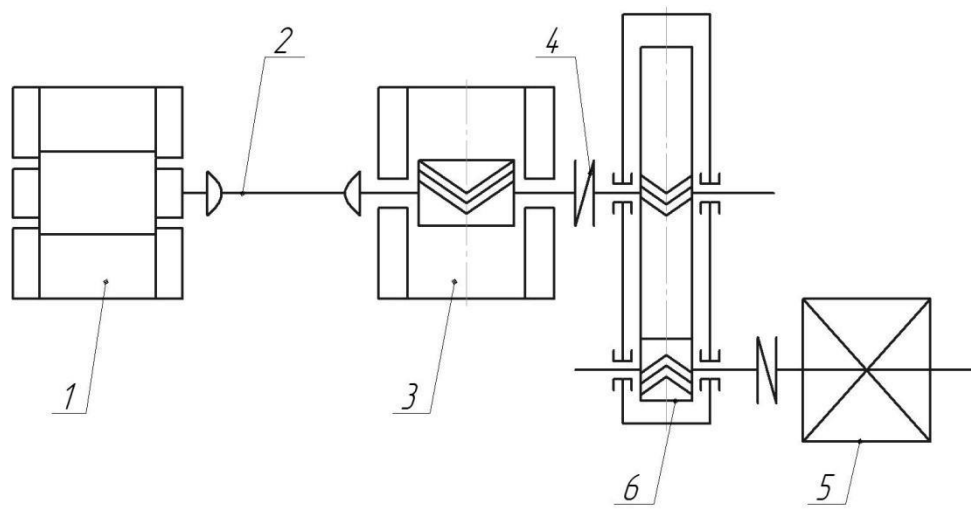


Рисунок 1.6 – Схема головної лінії прокатного стану: 1 – робоча кліть з прокатними валками; 2 – шпинделі з муфтами; 3 – шестеренна кліть; 4 – корінна муфта; 5 – електричний двигун; 6 – головна муфта

Саме відповідальне устаткування прокатного стану – це його робоча кліть, де відбуваються усі основні процеси деформації. Робоча кліть складається з наступних елементів: станини, прокатних валків, які встановлюють в підшипники, механізмів, що забезпечують встановлення та фіксацію прокатних валків у вертикальній та горизонтальній площині, пристосувань, які забезпечують змащення та охолодження прокатних валків, валкової арматури.

Основний інструмент який забезпечує пластичну деформацію матеріалу – це прокатні валки. Вони сприймають усі навантаження, що діють в процесі прокатування, тому до них пред'являють особливі вимоги. Виготовляють прокатні валки, в залежності від призначення, зі сталі або з чавуну.

					КНУ.РБ.136.26.112с-02.01.АВЗКП	Аркуш
						1.14
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Сталеві прокатні валки мають більш високу міцність та пластичність. Тому, їх встановлюють у тих клітках, які виконують великі обтиснення, на чорнових проходах. Чавунні валки забезпечують більш точний профіль, тому, їх встановлюють на чистових проходах.

Підшипники призначенні для підтримання прокатних валків та передачі крутячого моменту. Через підшипники передаються зусилля, які виникають при прокатуванні, від прокатних валків до станини. Підшипники розміщують на подушках, які служать для забезпечення точного положення прокатних валків та передачі зусилля прокатування від валків до станини. Для запобігання переміщення подушок використовують затискуючі та регулюючі планки. Для врівноваження прокатних валків використовують врівноважуючі пристрої. Для забезпечення потрібного зазору між прокатними валками використовують натискні механізми.

Усе допоміжне обладнання прокатного стану поділяють на дві категорії: обробне та транспортує.

Обробне обладнання використовують для обробки металовиробів без пластичної деформації: правлення, обрізання, розрізання.

Для розрізання матеріалу використовують різні ножиці: з паралельними ножами, з похилими ножами, летючі ножиці, дискові ножиці і пили. Для правки матеріалу використовують роликотправильні машини, правильні преси. Для підвищення якості прокату використовують різне механічне обладнання, механообробні верстати.

Транспортує обладнання використовується для переміщення матеріалу впродовж та в поперек міху, а також між цехами. До такого обладнання відносять: рольганги, зливковози, для переміщення заготовок впоперек цеху від рольгангу до рольгангу використовують шлепери, маніпулятори та кантувачі забезпечують точне спрямування заготовок в робочі кліті і їх повертання навколо власної осі.

					КНУ.РБ.136.26.112с-02.01.АВЗКП	Аркуш
						1.15
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для отримання сортового круглого сталевого прокату розмірам 20 мм обираємо прокатних стан ДС 250. Схема такого стану показана на рис. 1.7.

На рисунку показано безперервний однитковий дрібносортовий стан 250, який призначено для отримання круга, що має діаметр від 14 мм до 32 мм та шестикутника з діаметром вписаного кола від 14 мм до 40 мм.

Прокатний стан має у своєму складі 20 клітей дуо з горизонтальними та вертикальними прокатними клітьми. Такі кліті на прокатному стану об'єднано в три групи: чорнова, проміжна, та чистова.

Чорнова група має вісім прокатних клітей, з них чотири горизонтальні, а чотири – вертикально розташовані. Проміжна група клітей має у своєму складі шість прокатних клітей і чистова група клітей, також, має шість прокатних клітей. В кожній групі три вертикальні кліті, три горизонтальні. Розміри прокатних валків кожної кліті занесено в табл. 1.2.

Таблиця 1.2 – Розміри прокатних валків

№ кліті	Діаметр × довжину, мм	№ кліті	Діаметр × довжину, мм
1	560×800	11	320×500
2	530×800	12	320×500
3	470×800	13	320×500
4	450×800	14	320×500
5	380×710	15	320×500
6	380×630	16	320×500
7	380×710	17	280×400
8	380×630	18	280×400
9	320×500	19	280×400
10	320×500	20	280×400

					КНУ.РБ.136.26.112с-02.01.АВЗКП	Аркуш
						1.16
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

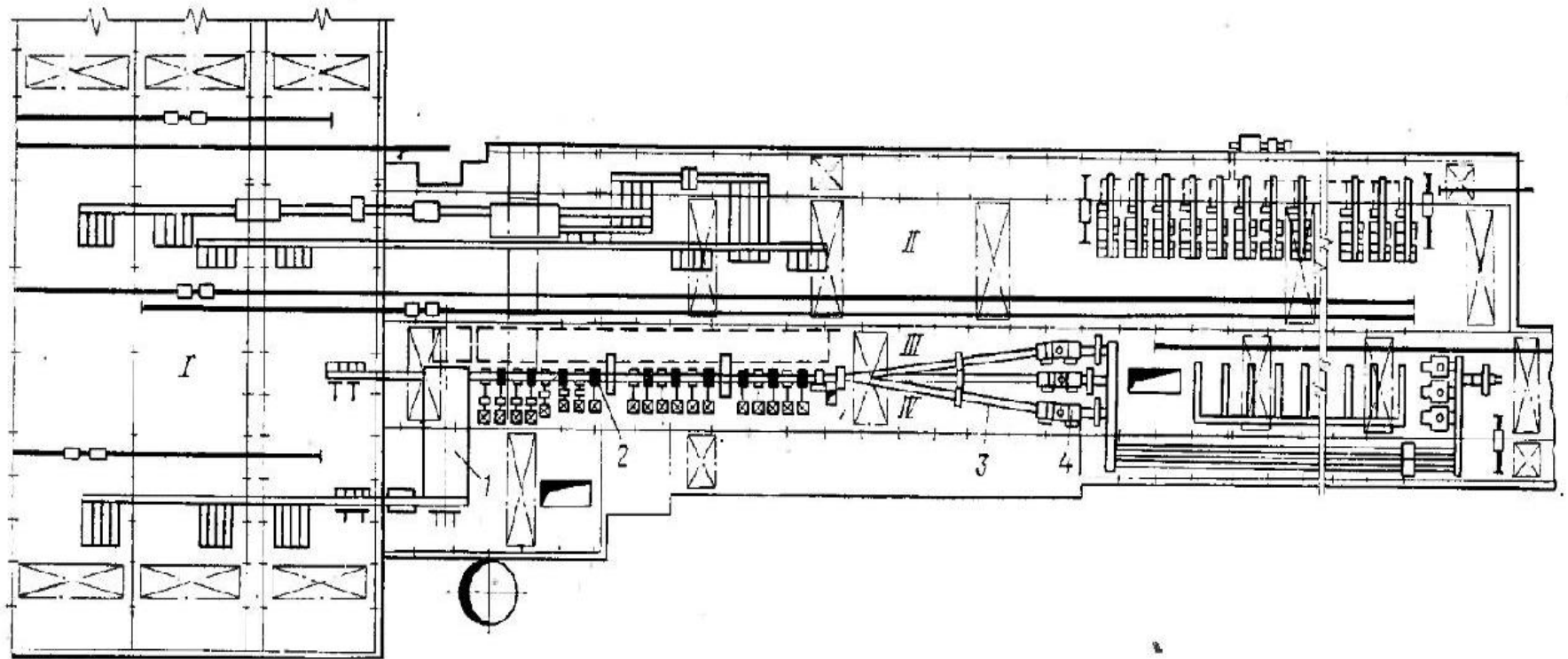


Рисунок 1.7 – План розташування обладнання прокатного стану ДС 250: *I* – склад безперервнолитих заготовок; *II* – відділення підготовки вихідних матеріалів; *III* – проліт прокатного стану; *IV* – машинна зала; *I* – нагрівна піч; 2 – робочі кліті прокатного стану; 3 – охолодження прокату; 4 – контрольний стіл

Вим.

Арк.

№ ДОКУМ.

Підпис

Дата

КНУ.РБ.136.26.112с-02.01.АВЗКП

1.17

Архшт

Завдяки почерговості розташування вертикальних та горизонтальних клітей, прокатування здійснюється без кантування розкату, що запобігає його скручуванню та забезпечує високу продуктивність процесу обробки. Усі кліті прокатного стану мають доволі жорстку конструкцію, що забезпечує прокатування з мінімальним натягом та дозволяє одержати готові вироби з мінімальними допусками на розміри поперечних перерізів. Прокатний стан облаштовано трубами, які здійснюють прискорене охолодження прокату, що підвищує його якість за рахунок зміцнення. На ділянці обробки матеріалу здійснюється його автоматична дефектоскопія та відбувається сортування за внутрішніми та зовнішніми дефектами.

					КНУ.РБ.136.26.112с-02.01.АВЗКП	Аркуш
						1.18
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2 РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ КРУГЛОГО ПРОКАТУ ДІАМЕТРОМ 20 мм

2.1 Послідовність технологічних операцій для виготовлення круглого прокату діаметром 20 мм з безперервно-ливої заготовки

Технологія отримання сталевого круглого прокату діаметром 20 мм з безперервно-ливої заготовки складається з наступних операцій:

1. Підготування вихідного матеріалу до прокатування. В якості вихідного матеріалу пропонується використовувати безперервнолиту сталеву квадратну заготовку, яка має поперечні розміри 80×80 мм та довжину 11 м. Огляд заготовки та її очищення, видалення поверхневих дефектів. Контроль розмірів безперервно-ливої заготовки, їх граничних відхилень.

2. Подача безперервно-ливої заготовки із завантажувальної решітки до нагрівальної печі за допомогою підводячого рольгангу та зштовхування її у піч за допомогою штовхаючого пристрою.

3. Нагрівання заготовки в методичній печі до температури прокатування, яка складала 1180°C.

4. Видача нагрітої безперервно-ливої заготовки з печі на рольганг за допомогою виштовхувача.

5. Транспортування заготовки до чорнової групи клітей прокатного стані за допомогою рольгангу.

6. Обрізання кінців заготовки за допомогою кривошипно-важільних ножиць.

7. Прокатування матеріалу в чорнових клітях прокатного стану за розрахованими режимами.

					КНУ.РБ.136.26.112с-02.02.РТВКП					
Вим.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата	РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ КРУГЛОГО ПРОКАТУ ДІАМЕТРОМ 20 мм					
Розробив	Бердник							Літ.	Аркуш	Аркушів
Перевірив	Чубенко								2.1	30
Рецензент								Кафедра МЧМЛВ гр. МТ-23-1ск		
Н. контр.	Чубенко									
Затвердив	Бабощко									

8. Прокатування матеріалу в проміжних клітках прокатного стану відповідно розрахованим режимам.

9. Прокатування у чистових клітках за розрахованими режимами для отримання потрібного профілю.

10. Розрізання отриманого профілю на мірні частини та спрямування до холодильника.

11. Охолодження виробу на холодильнику.

12. Правка та обробка прокату.

13. Охолодження розкату на холодильнику.

14. Правка прокату, притирання виробу.

15. Термічна обробка виробу – нормалізація для знаття внутрішніх напружень, що виникли після гарячого прокатування, покращення механічних властивостей та структури матеріалу марки Сталь 20. Термічна обробка полягає в нагріванні сталі до температури 900°C, витримки та охолодженні на повітрі.

16. Кінцевий контроль якості прокату: контроль поперечних розмірів та їх граничних відхилень за допомогою шаблонів; контроль механічних властивостей, хімічний контроль на спеціальному обладнанні.

17. Маркування, пакування готового виробу

18. Здача готового прокату

2.2 Калібрування прокатних валків для отримання круглого прокату діаметром 20 мм з безперервно-ливої заготовки 80×80 мм

Початковий матеріал для отримання сталевого круглого прокату діаметром 20 мм є безперервно-лита заготовка квадратного поперечного перерізу, що має розміри 80×80 мм. площа поперечного перерізу початкового матеріалу дорівнює: $F_0=80\times 80=6400\text{ мм}^2$.

Для отримання вірного профілю калібрування виконуємо проти руху прокатування, починаючи з останнього чистового калібру, який має номер сімнадцять для нашого прокатного стану. Розрахунок ведемо з урахуванням

					КНУ.РБ.136.26.112с-02.02.РТВКП	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		2.2

теплового розширення матеріалу при гарячій обробці та мінусового допуску.

Граничні відхилення для круглої сталі діаметром 20 мм, при звичайній точності прокатування, дорівнюють $20_{-0,3}^{+0,2}$.

Діаметр поперечного перерізу виробу з урахуванням мінусового допуску та теплового розширення матеріалу визначають за формулою:

$$d_{\Gamma} = (d_{\text{н}} - \frac{\Delta}{2})1,013, \quad (2.1)$$

де $d_{\text{н}}$ – номінальний розмір профілю $d_{\text{н}} = 20$ мм;

Δ – величина мінусового допуску на номінальний розмір, $\Delta = 0,3$ мм;

1,013 – коефіцієнт теплового розширення оброблюваного матеріалу.

Підставив необхідні значення, отримаємо:

$$d_{\Gamma} = \left(20 - \frac{0,3}{2}\right) 1,013 = 20,1 \text{ мм.}$$

Площа поперечного перерізу готового профілю в гарячому стані визначається за формулою:

$$F_{\Gamma} = \pi \cdot \frac{d_{\Gamma}^2}{4}. \quad (2.2)$$

Після підстановки, отримаємо:

$$F_{\Gamma} = 3,14 \cdot \frac{20,1^2}{4} = 317,3 \text{ мм}^2.$$

На чистових проходах будемо використовувати систему калібрувань: «ребровий овал – овал – круг».

Визначаємо коефіцієнт витяжки в чистовому проході останньої прокатної кліті (13 кліть) μ_{13} за практичними даними: $\mu_{13} = 1,15$.

З технічної характеристики прокатного стану, діаметр прокатних валків у останній прокатній кліті дорівнює: $D = 280$ мм. Швидкість прокатування у останній прокатній кліті дорівнює: 16 м/с.

Розширення при прокатуванні в чистовому калібрі визначаємо за графіком: $\Delta b = 2$ мм.

Таким чином, отримали чистовий круг (рис. 2.1)

					КНУ.РБ.136.26.112с-02.02.РТВКП	Аркуш
						2.3
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

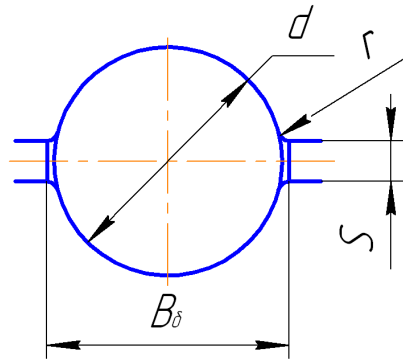


Рисунок 2.1 – Чистовий круглий калібр: B_δ – ширина чистового калібру;
 r – радіус закруглень; S – зазор між прокатними валками.

Приймаємо, що зазор дорівнює 2 мм.

Переходимо до розрахунку 12 прокатної кліті, де знаходиться передчистовий калібр, якій має овальну форму та розташований вертикально (рис. 2.2).

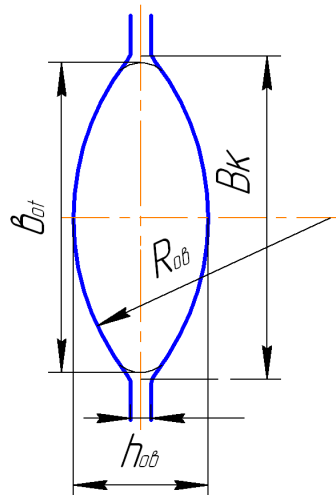


Рисунок 2.2 – Передчистовий вертикальний овальний калібр

При прокатуванні в передчистовому дванадцятому калібрі коефіцієнт витяжки дорівнює $\mu_{12} = 1,21$.

Площа профілю поперечного перерізу в передчистовому овальному калібрі визначається з урахуванням витяжки за формулою:

					КНУ.РБ.136.26.112с-02.02.РТВКП	Аркуш
						2.4
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$F_{12} = \mu_{13} \cdot F_T \quad (2.3)$$

Після підстановки, отримаємо площу розкату в передчистовому калібрі:

$$F_{12} = 1,15 \cdot 317,3 = 383,9 \text{ мм}$$

Висота передчистового овалу (визначається горизонтально), розраховується за формулою:

$$h_{12} = b_{13} - \Delta b_{13}. \quad (2.4)$$

Після підстановки значень отримаємо висоту розкату в передчистовому калібрі:

$$h_{12} = 20,1 - 2 = 18,1 \text{ мм.}$$

Ширина овального калібру визначається за формулою:

$$b_{12} = \frac{3 \cdot F_{16}}{2 \cdot h_{16} + S}. \quad (2.5)$$

Підставив потрібно значення при зазорі $S=2$ мм, отримаємо:

$$b_{12} = \frac{3 \cdot 383,9}{2 \cdot 18,1 + 2} = 30,15 \text{ мм.}$$

Швидкість прокатування в кліті визначається за формулою:

$$v_i = v_{i+1} / \mu_{i+1}. \quad (2.6)$$

Підставив відповідні значення швидкість прокатування в передчистовій кліті дорівнює:

$$v_{12} = \frac{16}{1,15} = 13,9 \text{ м/с.}$$

В одинадцятій прокатний кліті знаходиться калібр, що має форму ребрового овалу (рис. 2.3), розташовується горизонтально.

Площа поперечного перерізу калібру дорівнює в одинадцятій прокатній кліті:

$$F_{11} = 1,21 \cdot 383,9 = 464,5 \text{ мм.}$$

Ширина ребрового овалу знаходиться за формулою:

$$b_i = \sqrt{1,06 \cdot F_i}. \quad (2.7)$$

					КНУ.РБ.136.26.112с-02.02.РТВКП	Аркуш
						2.5
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

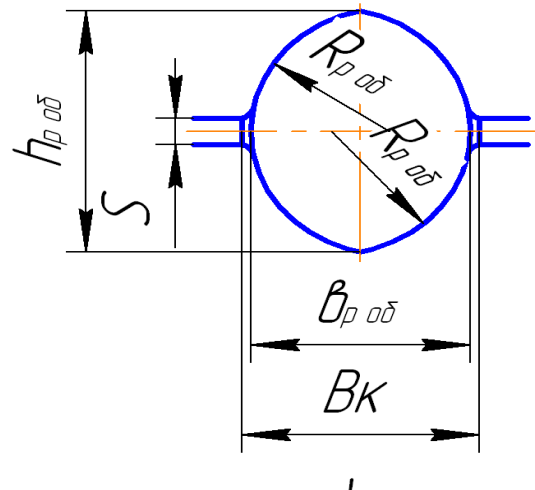


Рисунок 2.3 – Калібр - ребровий овал, розташований горизонтально

В результаті, отримаємо:

$$b_{11} = \sqrt{1,06 \cdot 464,5} = 22,19 \text{ мм.}$$

Висота ребрового овалу визначається за формулою:

$$h_i = 1,25b_i. \quad (2.8)$$

В результаті, отримаємо в одинадцятій прокатній кліті:

$$h_{11} = 1,25 \cdot 22,19 = 27,7 \text{ мм.}$$

Коефіцієнт витяжки приймаємо в калібрі одинадцятої прокатної кліті дорівнює: $\mu_{15} = 1,25$.

Швидкість прокатування в одинадцятій прокатній кліті дорівнює:

$$v_{11} = \frac{13,9}{1,25} = 11,1 \text{ м/с.}$$

Десята прокатна кліть має овальний калібр, розташований вертикально.

Площа поперечного перерізу в калібрі дорівнює:

$$F_{10} = 1,25 \cdot 464,5 = 580 \text{ мм}^2.$$

Розширення в одинадцятому калібрі приймаємо:

$$\Delta b = 3,0 \text{ мм.}$$

Висота десятого калібру дорівнює:

$$h_{10} = 22,19 - 3,0 = 19,19 \text{ мм.}$$

Ширина десятого калібру дорівнює при зазорі 3,5 мм:

					КНУ.РБ.136.26.112с-02.02.РТВКП	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		2.6

$$b_{10} = \frac{3 \cdot 580}{2 \cdot 19,19 + 3,5} = 41,6 \text{ мм.}$$

Витяжка в калібрі дорівнює: $\mu_{10} = 1,22$.

Швидкість прокатування в десятій прокатній кліті дорівнює:

$$v_{10} = \frac{11,1}{1,22} = 9,09 \text{ м/с.}$$

Дев'ята кліть має калібр ребровий овал, розташований горизонтально.

Площа поперечного перерізу калібру дорівнює:

$$F_9 = 1,22 \cdot 580 = 709 \text{ мм}^2.$$

Ширина ребрового овалу в калібрі в дев'ятій прокатній кліті дорівнює:

$$b_9 = \sqrt{1,06 \cdot 709} = 27,5 \text{ мм.}$$

Висота ребрового овалу в дев'ятому калібрі буде дорівнювати:

$$h_9 = 1,25 \cdot 27,5 = 34,3 \text{ мм.}$$

В дев'ятому калібрі відбувається розширення відповідно до графіку:

$$\Delta b_9 = 4,5 \text{ мм.}$$

Коефіцієнт витяжки в калібрі дорівнює за практичними даними: $\mu_9 = 1,3$.

Швидкість прокатування в дев'ятій прокатній кліті дорівнює:

$$v_9 = \frac{9,09}{1,3} = 7,0 \text{ м/с.}$$

Восьма прокатна кліть має овальний калібр, розташований вертикально.

Площа поперечного перерізу калібру в восьмій кліті дорівнює:

$$F_8 = 1,3 \cdot 709 = 920 \text{ мм}^2.$$

Висота овалу дорівнює: $h_8 = 27,5 - 4,5 = 23,0 \text{ мм.}$

Приймаємо, що зазор дорівнює: $S = 6,5 \text{ мм.}$

Ширина овалу дорівнює:

$$b_8 = \frac{3 \cdot 920}{2 \cdot 23,0 + 6,5} = 52,8 \text{ мм.}$$

Розширення при прокатуванні у восьмій прокатній кліті дорівнює:

$$\Delta b_8 = 52,8 - 44,0 = 8,8 \text{ мм.}$$

Коефіцієнт витяжки приймаємо рівним в кліті $\mu_8 = 1,39$.

					КНУ.РБ.136.26.112с-02.02.РТВКП	Аркуш
						2.7
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Швидкість прокатування в восьмій прокатній кліті дорівнює:

$$v_8 = \frac{7,0}{1,39} = 5,05 \text{ м/с.}$$

Сьомий калібр вертикально розташований, має форму ребрового овалу.

Площа поперечного перерізу калібру дорівнює:

$$F_7 = 1,39 \cdot 920 = 1280 \text{ мм}^2.$$

Висота сьомого калібру дорівнює: $h_7=44,0$ мм.

Ширина сьомого калібру дорівнює: $b_7=38,0$ мм.

Розширення в сьомій прокатній кліті дорівнює:

$$\Delta b_7 = 38 - 29,4 = 8,6 \text{ мм}$$

Шоста прокатна кліть має калібр овальної форми, розташований горизонтально.

Коефіцієнт витяжки в сьомому калібрі дорівнює: $\mu_7 = 1,2$.

Швидкість прокатування в сьомій прокатній кліті дорівнює:

$$v_7 = \frac{5,04}{1,2} = 4,2 \text{ м/с.}$$

Площа поперечного перерізу калібру шостої прокатної кліті дорівнює:

$$F_6 = 1280,0 \cdot 1,2 = 1540 \text{ мм}^2$$

Висота овального калібру в шостій прокатній кліті буде дорівнювати:

$$h_6 = 29,4 \text{ мм.}$$

Величину зазору між прокатними валками в шостій прокатній кліті приймаємо рівною: $S = 6,0$ мм.

Висота калібру в шостій прокатній кліті дорівнює: $b_6=55,5$ мм.

Витяжка в овальному калібрі визначається за формулою:

$$\mu_{ов} = 1 + 1,25(\mu_{р,о} - 1). \quad (2.9)$$

Після підстановки, отримаємо витяжку в шостому овальному калібрі:

$$\mu_6 = 1 + 1,25(\mu_{р,о} - 1) = 1 + 1,25(1,2 - 1) = 1,25.$$

Швидкість прокатування в шостій прокатній кліті дорівнює:

$$v_6 = \frac{4,2}{1,25} = 3,4 \text{ м/с.}$$

					КНУ.РБ.136.26.112с-02.02.РТВКП	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		2.8

Розширення в шостій прокатній кліті дорівнює:

$$\Delta b_6 = 38 - 29,4 = 8,6 \text{ мм}$$

П'ята прокатна кліть має калібр у формі ребрового овалу, який розташовано вертикально.

Площа поперечного перерізу калібру, що знаходиться в п'ятій прокатній кліті дорівнює:

$$F_5 = 1540 \cdot 1,25 = 1925 \text{ мм}^2.$$

Ширина ребрового овалу в п'ятій кліті дорівнює

$$b_5 = \sqrt{1,06 \cdot 1925} = 45 \text{ мм}.$$

Висота ребрового овалу в п'ятій прокатній кліті дорівнює:

$$h_5 = 1,25 \cdot 45 = 56,25 \text{ мм}.$$

Приймаємо коефіцієнт витяжки в калібрі за графіками: $\mu_5 = 1,3$.

Швидкість прокатування в п'ятій прокатній кліті дорівнює:

$$v_5 = \frac{3,4}{1,3} = 2,6 \text{ м/с}.$$

Розширення в п'ятій прокатній кліті дорівнює:

$$\Delta b_5 = 55,5 - 45 = 15,5 \text{ мм}.$$

Четверта прокатна кліть має овальний калібр, розташований горизонтально.

Площа поперечного перерізу калібру в четвертій прокатній кліті дорівнює:

$$F_4 = 1025 \cdot 1,3 = 2502 \text{ мм}^2.$$

При прокатуванні в калібрі відбулося розширення, яке визначаємо за графіками і воно дорівнює: $\Delta b = 6,6 \text{ мм}$.

Зазор між прокатними валками в четвертій прокатній кліті дорівнює:

$$S = 9 \text{ мм}.$$

Висота калібру з урахуванням розширення, дорівнює:

$$h_4 = 56,25 - 6,6 = 49,65 \text{ мм}.$$

Ширина калібру дорівнює:

$$b_4 = \frac{3 \cdot 2502}{2 \cdot 49,65 + 9} = 69,3 \text{ мм}.$$

					КНУ.РБ.136.26.112с-02.02.РТВКП	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		2.9

Коефіцієнт витяжки при прокатуванні в овальному калібрі четвертої прокатної кліті буде рівним: $\mu_4=1,3$.

Швидкість прокатування в четвертій прокатній кліті дорівнює:

$$v_4 = \frac{2,6}{1,3} = 2,0 \text{ м/с.}$$

Третя, друга та перша прокатні кліті відносяться до чорнової групи прокатних клітей, які розташовано горизонтально та мають ящикові калібри (рис. 2.4).

Третя прокатна кліть має калібр у формі ящикового квадрату, який розташовано горизонтально.

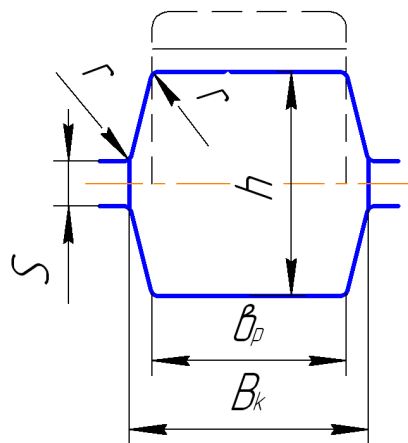


Рисунок 2.4 – Чорновий ящиковий калібр

Його площа поперечного перерізу дорівнює:

$$F_3 = 2502 \cdot 1,3 = 3252 \text{ мм}^2.$$

Визначимо сторону ящикового квадрату за урахуванням теплового розширення матеріалу за формулою:

$$C_3 = \sqrt{1,03 \cdot F_3}, \quad (2.10)$$

де 1,03 – коефіцієнт теплового розширення.

Після розрахунку отримаємо, що сторона квадрату дорівнює:

$$C_3 = \sqrt{1,03 \cdot 3254} = 57,9 \text{ мм.}$$

					КНУ.РБ.136.26.112с-02.02.РТВКП	Аркуш
						2.10
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Швидкість прокатування в третій прокатній кліті дорівнює:

$$v_3 = \frac{2,0}{1,32} = 1,5 \text{ м/с.}$$

Для розрахунку першої і другої прокатної кліті визначимо площу початкового матеріалу, що надходить до чорнової прокатної кліті з урахуванням теплового розширення.

$$h_0 \times b_0 = 1,03 \cdot 80 \times 80 = 6400 \cdot 1,03 = 6592 = 81 \times 81 \text{ мм.}$$

Без врахування теплового розширення площа початкового матеріалу дорівнює: $F_0 = 6400 \text{ мм}^2$.

Потрібно розподіли обтиснення між чорновими прокатними клітями.

Призначаємо величину обтиснення в першій прокатній кліті рівною:

$$\Delta h_1 = 18 \text{ мм.}$$

Висота смуги з урахуванням обтиснення визначається за формулою:

$$h_1 = h_0 - \Delta h_1. \quad (2.11)$$

Тоді, після проходження смуги в першій прокатній кліті, її висота буде дорівнювати:

$$h_1 = 81 - 18 = 63 \text{ мм.}$$

Приймаємо, що зазор між валками в першій прокатній кліті буде дорівнювати: $S = 10 \text{ мм}$.

Номинальний діаметр прокатних валків в першій кліті дорівнює:

$$D_1 = 560 \text{ мм.}$$

Кут захоплення металу прокатними валками в першій прокатній кліті визначимо за формулою:

$$\alpha = \arccos \left(1 - \frac{\Delta h}{D_1} \right) \quad (2.12)$$

Після підстановки отримаємо:

$$\alpha = \arccos \left(1 - \frac{18}{560} \right) = 0,343 \text{ рад.}$$

Визначаємо показник ступеню при визначенні розширення:

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

					КНУ.РБ.136.26.112с-02.02.РТВКП	Аркуш
						2.11
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розширення при прокатуванні можна визначити за формулою:

$$\Delta b = \frac{2 \cdot \Delta h \cdot b_{cp} \cdot K_{орг}}{(h_i + h_{i+1}) \cdot \left[1 + (1 + \alpha) \cdot \left(\frac{b_{cp}}{R \cdot \alpha} \right)^n \right]} \quad (2.13)$$

де b_{cp} – середня ширина смуги, мм;

$K_{орг}$ – коефіцієнт обмеження, $K_{орг} = 0,9$;

R – радіус прокатних валків, мм.

Підставив відповідні значення, отримаємо розширення у кліті:

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

З врахуванням розширення після прокатування в першій прокатній кліті розкат буде мати ширину: $b_1 = 81 + 4,8 = 85,8$ мм.

Таким чином, отримали розміри розкату після першої прокатної кліті:

$$h_1 \times b_1 = 63,0 \times 85,8 \text{ мм.}$$

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

Коефіцієнт витяжки при прокатуванні смуги в першій прокатній кліті буде дорівнювати: $\mu_1 = 1,18$.

Друга прокатна кліть розташована горизонтально, калібр в кліті має ящикову форму.

З метою рівномірного розподілу величин обтиснення приймаємо величину обтиснення рівною: $\Delta h = 16$ мм.

Тоді, після прокатування в другій прокатній кліті висота розкату дорівнює $h_2 = 63 - 16 = 47$ мм.

Приймаємо, що зазор між прокатними валками в другій кліті буде дорівнювати: $S=8$.

Кут захоплення металу прокатними валками в другій прокатній кліті дорівнює: $\alpha = 0,308$ рад.

Для розрахунку розширення розкату в другій прокатній кліті, визначимо показник ступеню в розрахунках, який залежить від додатка радіусу прокатних валків на кут захоплення:

					КНУ.РБ.136.26.112с-02.02.РТВКП	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		2.12

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

Тоді, розширення розкату в другій прокатній кліті дорівнює:

$$\Delta b = 6,0 \text{ мм.}$$

Ширина розкату в другій прокатній кліті:

$$b_2 = 85,8 + 6,0 = 91,8 \text{ мм.}$$

Тоді, на виході з другої прокатної кліті розкат отримує розміри:

$$h_2 \times b_2 = 47 \times 91,8 \text{ мм.}$$

З врахуванням цього, розкат, який вийшов з другої прокатної кліті має площу поперечного перерізу: $F_2 = 4314 \text{ мм}^2$.

Коефіцієнт витяжки в другій прокатній кліті буде рівним: $\mu_2 = 1,25$.

Швидкість прокатування в другій прокатній кліті дорівнює:

$$v_2 = \frac{1,5}{1,25} = 1,2 \text{ м/с.}$$

Перед проходом в третій прокатній кліті, потрібно виконати кантування розкату навколо власної осі на 90° .

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

Абсолютне обтиснення в третій прокатній кліті дорівнює:

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

Кут захоплення металу прокатними валками третьої кліті дорівнює:

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

Показник ступеню при визначенні розширення в залежності від додатку радіусу валка на кут захоплення, яке дорівнює:

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

Розширення розкату при прокатуванні в третій прокатній кліті дорівнює:

$$\Delta b_3 = 10,5 \text{ мм.}$$

Розміри розкату після його проходу в третій прокатній кліті дорівнює:

$$b_3 = 47 + 10,5 = 57,5 \text{ мм.}$$

$$h_3 \times b_3 = 57,9 \times 56,5 \text{ мм.}$$

					КНУ.РБ.136.26.112с-02.02.РТВКП	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		2.13

Таким чином, в результаті розрахунку калібрування, отримали круглий сталевий прокат 20 мм за мінімальну кількість проходів на прокатному стані.

Швидкість прокатування в першій прокатній кліті дорівнює:

$$v_1 = \frac{1,2}{1,18} = 1,02 \text{ м/с.}$$

Результати розрахунку калібрувань занесемо в таблицю 2.1.

Таблиця 2.1 – Результати розрахунку калібрування для отримання сталевих прокату 20 мм

№ проходу	Форма та розташування калібру	Діаметр прокатних валків D_b , мм	Площа поперечного перерізу розкату F , мм ²	Коефіцієнт витяжки μ	Висота розкату h , мм	Ширина розкату b , мм	Розширення Δb , мм
Безперервно лита заготовка			6400		80	80	
1	Ящичний горизонтальний	530	5405,4	1,18	63,0	85,8	5,8
2	Ящичний горизонтальний	470	4314,0	1,25	47	92	7,0
3	Ящичний горизонтальний	450	3252,0	1,32	57,9	56,5	9,5
4	Овальний горизонтальний	320	2502,0	1,3	49,6	69,3	6,6
5	Рябовий овал вертикальний	320	1925,0	1,3	56,25	45,0	15,5
6	Овал горизонтальний	320	1540,0	1,25	29,4	55,2	8,6
7	Рябовий овал горизонтальний	320	1280,0	1,2	44,0	38,0	8,6
8	Овал вертикальний	320	920,0	1,35	23,0	52,8	8,8
9	Рябовий овал горизонтальний	320	709,0	1,3	34,3	27,5	4,5
10	Овал вертикальний	320	580,0	1,22	19,19	41,8	3,5
11	Рябовий овал горизонтальний	280	464,5	1,25	27,7	22,19	3,0
12	Овал вертикальний	280	389,9	1,21	18,1	30,15	2,0
13	Круг горизонтальний	280	317,3	1,15	20,1	20,1	2,0

В таблиці наведено усі основні дані калібрування, що забезпечують отримання сталевого прокату круглого поперечного перерізу 20 мм.

З таблиці видно, що потрібний виріб можна отримати за тринадцять проходів. В цих проходах чергується розташування прокатних клітей вертикальне з горизонтальним, що дозволяє здійснити всебічну пластичну деформації металовиробу чим покращується якістю внутрішньої поверхні. В таких прокатних клітях забезпечується отримання точного розміру круглого профілю без кантування, що підвищує продуктивність процесу.

2.3 Визначення режимів обтиснення

Щоб прослідкувати, як розподіляються величини обтиснення за усіма проходами, потрібно визначити абсолютне обтиснення та ступінь деформації за усіма проходами.

Величина абсолютного обтиснення визначається за формулою:

$$\Delta h_i = h_{i+1} - h_i. \quad (2.14)$$

Ступінь деформації визначається за формулою:

$$\varepsilon_i = \frac{\Delta h_i}{h_{i-1}} 100\%. \quad (2.15)$$

При прокатуванні в першій прокатній кліті величина абсолютного обтиснення дорівнює:

$$\Delta h_1 = 80 - 63 = 17 \text{ мм.}$$

Ступінь деформації в першій кліті дорівнює:

$$\varepsilon_1 = \frac{17}{80} 100\% = 21,2\%.$$

При прокатуванні в другій прокатній кліті величина абсолютного обтиснення дорівнює:

$$\Delta h_2 = 63 - 47 = 16 \text{ мм.}$$

Ступінь деформації в другій кліті дорівнює:

$$\varepsilon_2 = \frac{16}{63} 100\% = 25,4\%.$$

					КНУ.РБ.136.26.112с-02.02.РТВКП	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		2.15

При прокатуванні в третій прокатній кліті відбулося кантування розкату на 90° . Через це будемо використовувати наступну формулу:

$$\Delta h_i = b_{i+1} - h_i. \quad (2.16)$$

Тоді, величину абсолютного обтиснення отримаємо:

$$\Delta h_3 = 92 - 57 = 35 \text{ мм.}$$

Ступінь деформації після кантування визначається за наступною формулою:

$$\varepsilon_3 = \frac{\Delta h_i}{b_{i-1}} 100\%. \quad (2.17)$$

Ступінь деформації в третій кліті дорівнює:

$$\varepsilon_3 = \frac{35}{92} 100\% = 38,0\%.$$

Далі прокатування відбувається в умовах чергування горизонтальних та вертикальних прокатних, що потрібно враховувати в розрахунках.

При прокатуванні в четвертій прокатній кліті величина абсолютного обтиснення дорівнює:

$$\Delta h_4 = 56,5 - 49,6 = 6,9 \text{ мм.}$$

Ступінь деформації в четвертій прокатній кліті дорівнює:

$$\varepsilon_4 = \frac{6,9}{56,5} 100\% = 12,2\%.$$

При прокатуванні в п'ятій прокатній кліті величина абсолютного обтиснення дорівнює:

$$\Delta h_5 = 69,3 - 56,25 = 13,05 \text{ мм.}$$

Ступінь деформації в п'ятій прокатній кліті дорівнює:

$$\varepsilon_5 = \frac{13,05}{69,3} 100\% = 18,8 \text{ \%}.$$

При прокатуванні в шостій прокатній кліті величина абсолютного обтиснення дорівнює:

$$\Delta h_6 = 45,0 - 29,4 = 15,6 \text{ мм.}$$

Ступінь деформації в шостій прокатній кліті дорівнює:

$$\varepsilon_6 = \frac{15,6}{45,0} 100\% = 34,7 \text{ \%}.$$

					КНУ.РБ.136.26.112с-02.02.РТВКП	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		2.16

При прокатуванні в сьомій прокатній кліті величина абсолютного обтиснення дорівнює:

$$\Delta h_7 = 55,5 - 44 = 11,5 \text{ мм.}$$

Ступінь деформації в сьомій прокатній кліті дорівнює:

$$\varepsilon_7 = \frac{11,5}{55,5} 100\% = 20,7 \%$$

При прокатуванні в восьмій прокатній кліті величина абсолютного обтиснення дорівнює:

$$\Delta h_8 = 38 - 23 = 15,0 \text{ мм.}$$

Ступінь деформації в восьмій прокатній кліті дорівнює:

$$\varepsilon_8 = \frac{15,0}{38} 100\% = 39,5 \%$$

При прокатуванні в дев'ятій прокатній кліті величина абсолютного обтиснення дорівнює:

$$\Delta h_9 = 52,8 - 34,3 = 18,5 \text{ мм.}$$

Ступінь деформації в дев'ятій прокатній кліті дорівнює:

$$\varepsilon_9 = \frac{18,5}{52,8} 100\% = 35,0 \%$$

При прокатуванні в десятій прокатній кліті величина абсолютного обтиснення дорівнює:

$$\Delta h_{10} = 27,5 - 19,2 = 8,3 \text{ мм.}$$

Ступінь деформації в десятій прокатній кліті дорівнює:

$$\varepsilon_{10} = \frac{8,3}{27,5} 100\% = 32,5 \%$$

При прокатуванні в одинадцятій прокатній кліті величина абсолютного обтиснення дорівнює:

$$\Delta h_{11} = 41,6 - 27,7 = 13,9 \text{ мм.}$$

Ступінь деформації в одинадцятій прокатній кліті дорівнює:

$$\varepsilon_{11} = \frac{13,9}{41,6} 100\% = 33,4 \%$$

При прокатуванні в дванадцятій прокатній кліті величина абсолютного обтиснення дорівнює:

$$\Delta h_{12} = 22,19 - 18,1 = 4,09 \text{ мм.}$$

					КНУ.РБ.136.26.112с-02.02.РТВКП	Аркуш
						2.17
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Ступінь деформації в дванадцятій прокатній кліті дорівнює:

$$\varepsilon_{12} = \frac{4,09}{22,19} 100\% = 18,4 \%$$

При прокатуванні в тринадцятій прокатній кліті величина абсолютного обтиснення дорівнює:

$$\Delta h_{13} = 30,15 - 20,8 = 9,35 \text{ мм.}$$

Ступінь деформації в шостій прокатній кліті дорівнює:

$$\varepsilon_{13} = \frac{9,35}{30,15} 100\% = 31,0 \%$$

Дані розрахунку заносимо в табл. 2.1.

2.4 Розрахунок силових параметрів прокатування для виготовлення сталевого прокату діаметром 20 мм

Сила прокатування – це дуже важливий параметр процесу від якого залежать витрати енергії на процес та собівартість виробництва. Сила процесу прокатування залежить від багатьох чинників, які задіяні при прокатуванні: від температури гарячого прокатування, від марки оброблюваного матеріалу, від швидкість обробки, від ступеню деформації, від форми калібру, діаметру прокатних валків.

До першої прокатної кліті надходить безперервно-лита заготовка, що має температуру 1180°C.

При такій температурі границя текучості для сталі марки Сталь 20 дорівнює $\sigma_0 = 83 \text{ МПа}$

Було визначено, що швидкість прокатування в цій прокатній кліті дорівнює: $v = 1,02 \text{ м/с}$.

Діаметр валка першої прокатної кліті дорівнює: 530 мм.

Редуктор має передаточне відношення $i = 11,4$.

Підшипники мають діаметр 275 мм.

Оберти двигуна дорівнюють: $n_{dv} = 108,0 \text{ об/хв}$.

Швидкість деформації визначається за формулою:

					КНУ.РБ.136.26.112с-02.02.РТВКП	Аркуш
						2.18
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$u = v \cdot \frac{\Delta h \cdot h_0}{\sqrt{R_d \cdot \Delta h}} \quad (2.18)$$

Після підстановки отримаємо швидкість деформації в першій кліті дорівнює: $u = 3,0 \text{ с}^{-1}$.

Термомеханічні коефіцієнти визначають за наступними формулами:

- коефіцієнт, що залежить від температури:

$$k_t = 0,57 + 0,0045 \cdot (1200 - T) \cdot \sqrt{\frac{1200 - T}{T}} = 0,623. \quad (2.19)$$

- коефіцієнт, що залежить від швидкості деформації:

$$k_u = 0,80 + 0,065 \cdot \sqrt{3,1} = 0,915. \quad (2.20)$$

- коефіцієнт, що залежить від ступеню деформації:

$$k_\varepsilon = 0,82 + 0,082 \cdot \sqrt{\varepsilon} = 1,207. \quad (2.21)$$

Границя текучості визначається за формулою:

$$\sigma_t = \sigma_0 \cdot k_t \cdot k_u \cdot k_\varepsilon. \quad (2.22)$$

Після підстановки отримаємо, що границя матеріалу при прокатуванні в першій прокатній кліті дорівнює:

$$\sigma_t = 59,8 \text{ МПа}.$$

Коефіцієнт тертя визначається за залежностями:

$$k_v = 0,4 + 0,6 \cdot (1 - 0,05 \cdot v) = 0,98; \quad (2.23)$$

$$f = 0,8 \cdot (0,62 - 0,00025 \cdot T) \cdot k_v = 0,26. \quad (2.24)$$

Визначаємо умовний коефіцієнт тертя при прокатуванні в першій прокатній кліті:

$$f_i = f \cdot \frac{b_k + h_p}{b_k} = 0,35. \quad (2.25)$$

Довжина осередку деформації при прокатуванні визначається за формулою:

$$l_d = \sqrt{R_d \cdot \Delta h}, \quad (2.26)$$

де R_d – радіус прокатного валка.

Після підстановки отримаємо довжину осередку деформації в першій прокатній кліті: $l_d = 56,9 \text{ мм}$.

					КНУ.РБ.136.26.112с-02.02.РТВКП	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		2.19

Середня висота розкату в першій прокатній кліті дорівнює:

$$h_c = 0,50 \cdot (80 + 63) = 72,0 \text{ мм.}$$

Коефіцієнт підпору дорівнює в першій прокатній кліті дорівнює:

$$n_p = \left(1 - \frac{l}{h_c}\right) + \frac{0,55}{\sqrt{\frac{1}{h_c}}} = 1,09. \quad (2.27)$$

При деформації коефіцієнт тертя дорівнює:

$$f_c = f \left[1,28 + 0,003 \cdot (\varepsilon - 70) \cdot \sqrt{\varepsilon} - 0,005 \cdot \left(\frac{l}{h_c} - 1\right)\right] = 0,158. \quad (2.28)$$

Середній контактний тиск, що діє по дну калібру у вертикальному напрямку розраховується за формулою:

$$P_v = \sigma_t \cdot n_p. \quad (2.29)$$

Середній контактний тиск, що виникає при прокатуванні в першій прокатній кліті дорівнює:

$$P_v = 56,8 \cdot 1,09 = 61,9 \text{ МПа.}$$

Контактний тиск, що діє на бічну поверхню калібру при прокатуванні в першій кліті:

$$P_{b1} = P_v \cdot [0,006 \cdot \varepsilon + 0,11(1 + Z)^2 + 0,23] = 30,0 \text{ МПа.}$$

Площа горизонтальної проєкції бокової поверхні в першій кліті:

$$F_{b1} = 0,02 \cdot \varphi \cdot h_p \left(0,84 \cdot \frac{h_z}{h_p} - 0,18\right) \cdot 1 = 182,658 \text{ мм}^2.$$

При прокатуванні в першій прокатній кліті виникає тиск металу на валки:

$$P_1 = (P_v \cdot F + P_b \cdot F_b) \cdot 0,001 = 291,28 \text{ кН.}$$

Коефіцієнт плеча моменту в першій прокатній кліті дорівнює:

$$\Psi_1 = 0,78 - 0,27 \cdot \frac{l_d}{h_c} = 0,571.$$

Момент прокатування в першій кліті визначається за формулою:

$$M_{пр} = 2 \cdot P \cdot \Psi \cdot 1 \cdot f. \quad (2.30)$$

Після підстановки отримаємо момент прокатування в першій прокатній кліті дорівнює:

$$M_{пр1} = 2 \cdot 291,3 \cdot 0,57 \cdot 1 \cdot 0,001 = 18,5 \text{ кН} \cdot \text{м.}$$

					КНУ.РБ.136.26.112с-02.02.РТВКП	Аркуш
						2.20
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Динамічний момент, що виникає в першій кліті дорівнює:

$$M_{d1} = \frac{2 \cdot M_{np} + 2 \cdot P \cdot 0,003 \cdot d}{i \cdot 0,96 \cdot 0,96 \cdot 0,94} = 3,8 \text{ кН} \cdot \text{м.}$$

Потужність прокатування в першій кліті буде рівною:

$$N_{d1} = \frac{M_{dv} \cdot n_{dv}}{9,75} = 201,5 \text{ кВт.}$$

При розрахунку силових параметрів у другій прокатній кліті враховують наступні дані:

- температура розкату зменшилася і приймає значення: $T_2 = 1130^\circ\text{C}$;
- швидкість прокатування в другій прокатній кліті дорівнює:
 $v_2 = 1,2 \text{ м/с}$;
- діаметр валків другої прокатної кліті дорівнює: $D_2 = 470$;
- швидкість деформації в другій прокатній кліті дорівнює: $u_2 = 4,5 \text{ 1/с}$.

Розрахунок термодинамічних коефіцієнтів, які виникають в другій прокатній кліті, показав, що вони дорівнюють:

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

Під дією термомеханічних коефіцієнтів середнє значення границі течії металу дорівнює: $\sigma_{t2} = 60,8 \text{ МПа}$.

Дуга контакту інструменту з оброблюваним матеріалом в другій прокатній кліті дорівнює: $l_{d2} = 53,5 \text{ мм}$;

Контактний тиск, який діє вертикально на дно калібру дорівнює:

$$P_{v2} = 61,5 \text{ МПа.}$$

Контактний тиск, який діє на бічну поверхню дорівнює: $P_{b2} = 45,5 \text{ МПа}$.

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

$$P_{b2} = 42,622 \text{ МПа.}$$

Повний тиск металу на валки в другій прокатній кліті дорівнює:

$$P_2 = 305,1 \text{ кН.}$$

Коефіцієнт плеча моменту для другої прокатної кліті дорівнює: $\psi_2 = 0,5$.

При прокатуванні в другій прокатній кліті виникає момент прокатування, який дорівнює: $M_{np2} = 19,5 \text{ кН} \cdot \text{м}$.

					КНУ.РБ.136.26.112с-02.02.РТВКП	Аркуш
						2.21
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Потужність процесу обробки в другій прокатній кліті буде рівною:

$$N_2=290,8 \text{ кВт.}$$

При розрахунку силових параметрів у третій прокатній кліті враховують наступні дані:

- температура розкату зменшилася і приймає значення: $T_3 = 1110^\circ\text{C}$;
- швидкість прокатування в третій прокатній кліті збільшується і дорівнює: $v_3 = 1,5 \text{ м/с}$;
- діаметр валків третьої прокатної кліті дорівнює: $D_3 = 450 \text{ мм}$;
- швидкість деформації в третій прокатній кліті дорівнює: $u_3 = 5,9 \text{ с}^{-1}$.

Розрахунок термодинамічних коефіцієнтів, які виникають в третій прокатній кліті, показав, що вони дорівнюють:

$$k_t = 0,65; k_u = 0,90; k_\varepsilon = 1,3.$$

Під дією термомеханічних коефіцієнтів середнє значення границі течії металу дорівнює: $\sigma_{t3} = 62,8 \text{ МПа}$.

Дуга контакту інструменту з оброблюваним матеріалом в третій прокатній кліті дорівнює: $l_{d3} = 63,8 \text{ мм}$;

Контактний тиск, який діє вертикально на дно калібру дорівнює:

$$P_{v3}=78,5 \text{ МПа.}$$

Контактний тиск, який діє на бічну поверхню дорівнює: $P_{b3}=56,7 \text{ МПа}$.

Повний тиск металу на валки в третій прокатній кліті дорівнює:

$$P_3=410,1 \text{ кН.}$$

Коефіцієнт плеча моменту для третьої прокатної кліті дорівнює: $\psi_3=0,48$.

При прокатуванні в третій прокатній кліті виникає момент прокатування, який дорівнює: $M_{пр3} = 25,2 \text{ кН}\cdot\text{м}$.

Потужність процесу обробки в третій прокатній кліті буде рівною:

$$N_3=320,5 \text{ кВт.}$$

При розрахунку силових параметрів у четвертій прокатній кліті враховують наступні дані:

- температура розкату дорівнює: $T_4 = 1080^\circ\text{C}$;

					КНУ.РБ.136.26.112с-02.02.РТВКП	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		2.22

- швидкість прокатування в четвертій прокатній кліті збільшується і дорівнює: $v_4 = 2,0$ м/с;

- діаметр валків четвертої прокатної кліті дорівнює: $D_4 = 320$ мм;

- швидкість деформації в четвертій прокатній кліті дорівнює: $u_4 = 7,8$ с⁻¹.

Розрахунок термодинамічних коефіцієнтів, які виникають в четвертій прокатній кліті, показав, що вони дорівнюють:

$$k_t = 0,69; k_u = 0,92; k_\varepsilon = 1,3.$$

Під дією термомеханічних коефіцієнтів середнє значення границі течії металу дорівнює: $\sigma_{t4} = 65,3$ МПа.

Дуга контакту інструменту з оброблюваним матеріалом в четвертій прокатній кліті дорівнює: $l_{d4} = 61,5$ мм;

Контактний тиск, який діє вертикально на дно калібру дорівнює:

$$P_{v4} = 57,3 \text{ МПа.}$$

Контактний тиск, який діє на бічну поверхню дорівнює: $P_{b4} = 52,5$ МПа.

Повний тиск металу на валки в четвертій прокатній кліті дорівнює:

$$P_4 = 295,2 \text{ кН.}$$

Коефіцієнт плеча моменту для четвертої прокатної кліті дорівнює: $\psi_3 = 0,49$.

При прокатуванні в четвертій прокатній кліті виникає момент прокатування, який дорівнює: $M_{пр4} = 19,9$ кН·м.

Потужність процесу обробки в четвертій прокатній кліті буде рівною:

$$N_4 = 280,5 \text{ кВт.}$$

При розрахунку силових параметрів у п'ятій прокатній кліті враховують наступні дані:

- температура розкату дорівнює: $T_5 = 1050^\circ\text{C}$;

- швидкість прокатування в п'ятій прокатній кліті збільшується і дорівнює: $v_5 = 2,6$ м/с ;

- діаметр валків п'ятої прокатної кліті дорівнює: $D_5 = 320$ мм;

- швидкість деформації в п'ятій прокатній кліті дорівнює: $u_5 = 9,14$ с⁻¹.

					КНУ.РБ.136.26.112с-02.02.РТВКП	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		2.23

Розрахунок термодинамічних коефіцієнтів, які виникають в п'ятій прокатній кліті, показав, що вони дорівнюють:

$$k_t = 0,7; k_u = 0,93; k_\varepsilon = 1,35.$$

Під дією термомеханічних коефіцієнтів середнє значення границі течії металу дорівнює: $\sigma_{t5} = 68,4$ МПа.

Дуга контакту інструменту з оброблюваним матеріалом в п'ятій прокатній кліті дорівнює: $l_{d5} = 60,8$ мм;

Контактний тиск, який діє вертикально на дно калібру дорівнює:

$$P_{v5} = 66,1 \text{ МПа.}$$

Контактний тиск, який діє на бічну поверхню дорівнює: $P_{b5} = 54,2$ МПа.

Повний тиск металу на валки в п'ятій прокатній кліті дорівнює:

$$P_5 = 301,1 \text{ кН.}$$

Коефіцієнт плеча моменту для п'ятої прокатної кліті дорівнює: $\psi_5 = 0,487$.

При прокатуванні в четвертій прокатній кліті виникає момент прокатування, який дорівнює: $M_{пр5} = 20,5$ кН·м.

Потужність процесу обробки в п'ятій прокатній кліті буде рівною:

$$N_5 = 285,2 \text{ кВт.}$$

При розрахунку силових параметрів у шостій прокатній кліті враховують наступні дані:

- температура розкату дорівнює: $T_6 = 1020^\circ\text{C}$;
- швидкість прокатування в шостій прокатній кліті збільшується і дорівнює: $v_6 = 2,6$ м/с ;
- діаметр валків в прокатній кліті дорівнює: $D_6 = 320$ мм;
- швидкість деформації в прокатній кліті дорівнює: $u_6 = 11,6$ с⁻¹.

Розрахунок термодинамічних коефіцієнтів, які виникають в шостій прокатній кліті, показав, що вони дорівнюють:

$$k_t = 0,71; k_u = 0,925; k_\varepsilon = 1,34.$$

Під дією термомеханічних коефіцієнтів середнє значення границі течії металу дорівнює: $\sigma_{t6} = 69,8$ МПа.

					КНУ.РБ.136.26.112с-02.02.РТВКП	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		2.24

Дуга контакту інструменту з оброблюваним матеріалом в прокатній кліті дорівнює: $l_{d6} = 55,8$ мм;

Контактний тиск, який діє вертикально на дно калібру дорівнює:

$$P_{v6}=87,1 \text{ МПа.}$$

Контактний тиск, який діє на бічну поверхню дорівнює: $P_{b6}=56,2$ МПа.

Повний тиск металу на валки в п'ятій прокатній кліті дорівнює:

$$P_6=402,1 \text{ кН.}$$

Коефіцієнт плеча моменту для п'ятої прокатної кліті дорівнює: $\psi_6=0,487$.

При прокатуванні в шостій прокатній кліті виникає момент прокатування, який дорівнює: $M_{пр6} = 23,8$ кН·м.

Потужність процесу обробки в шостій прокатній кліті буде рівною:

$$N_6=302 \text{ кВт.}$$

При розрахунку силових параметрів у сьомій прокатній кліті враховують наступні дані:

- температура розкату дорівнює: $T_7 = 990^\circ\text{C}$;
- швидкість прокатування в прокатній кліті збільшується і дорівнює:
 $v_7 = 4,2$ м/с ;
- діаметр валків у прокатній кліті дорівнює: $D_7 = 320$ мм;
- швидкість деформації в прокатній кліті дорівнює: $u_7 = 13,21$ с⁻¹.

Розрахунок термодинамічних коефіцієнтів, які виникають в сьомій прокатній кліті, показав, що вони дорівнюють:

$$k_t = 0,75; k_u = 0,97; k_\varepsilon = 1,36.$$

Під дією термомеханічних коефіцієнтів середнє значення границі течії металу дорівнює: $\sigma_{t7} = 72,1$ МПа.

Дуга контакту інструменту з оброблюваним матеріалом в сьомій прокатній кліті дорівнює: $l_{d7} = 54,8$ мм;

Контактний тиск, який діє вертикально на дно калібру дорівнює:

$$P_{v7}=77,9 \text{ МПа.}$$

Контактний тиск, який діє на бічну поверхню дорівнює: $P_{b7}=56,2$ МПа.

					КНУ.РБ.136.26.112с-02.02.РТВКП	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		2.25

Повний тиск металу на валки в прокатній кліті дорівнює:

$$P_7=298,2 \text{ кН.}$$

Коефіцієнт плеча моменту для шостої прокатної кліті дорівнює: $\psi_6=0,498$.

При прокатуванні в сьомій прокатній кліті виникає момент прокатування, який дорівнює: $M_{пр7}=28,3 \text{ кН}\cdot\text{м}$.

Потужність процесу обробки в сьомій прокатній кліті буде рівною:

$$N_7=285,2 \text{ кВт.}$$

При розрахунку силових параметрів у восьмій прокатній кліті враховують наступні дані:

- температура розкату дорівнює: $T_8 = 975^\circ\text{C}$;
- швидкість прокатування у восьмій прокатній кліті збільшується і дорівнює: $v_8 = 5.04 \text{ м/с}$;

- діаметр валків восьмої прокатної кліті дорівнює: $D_8 = 320 \text{ мм}$;

- швидкість деформації у восьмій прокатній кліті дорівнює: $u_8 = 13,8 \text{ с}^{-1}$.

Розрахунок термодинамічних коефіцієнтів, які виникають у восьмій прокатній кліті, показав, що вони дорівнюють:

$$k_t = 0,76; k_u = 0,93; k_\varepsilon = 1,39.$$

Під дією термомеханічних коефіцієнтів середнє значення границі течії металу дорівнює: $\sigma_{t8} = 74.4 \text{ МПа}$.

Дуга контакту інструменту з оброблюваним матеріалом у восьмій прокатній кліті дорівнює: $l_{d8} = 56,3 \text{ мм}$.

Контактний тиск, який діє вертикально на дно калібру дорівнює:

$$P_{v8}=91,1 \text{ МПа.}$$

Контактний тиск, який діє на бічну поверхню дорівнює: $P_{b8}=54,2 \text{ МПа}$.

Повний тиск металу на валки у восьмій прокатній кліті дорівнює:

$$P_8=412,5 \text{ кН.}$$

Коефіцієнт плеча моменту для восьмої прокатної кліті дорівнює: $\psi_8=0,497$.

При прокатуванні у восьмій прокатній кліті виникає момент прокатування, який дорівнює: $M_{пр8}=31,2 \text{ кН}\cdot\text{м}$.

					КНУ.РБ.136.26.112с-02.02.РТВКП	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		2.26

Потужність процесу обробки у восьмій прокатній кліті буде рівною:

$$N_8=425,3 \text{ кВт.}$$

При розрахунку силових параметрів у дев'ятій прокатній кліті враховують наступні дані:

- температура розкату дорівнює: $T_9 = 960^\circ\text{C}$;
- швидкість прокатування в дев'ятій прокатній кліті збільшується і дорівнює: $v_9 = 7,0 \text{ м/с}$;
- діаметр валків дев'ятої прокатної кліті дорівнює: $D_9 = 320 \text{ мм}$;
- швидкість деформації в дев'ятій прокатній кліті дорівнює: $u_9 = 14,2 \text{ с}^{-1}$.

Розрахунок термодинамічних коефіцієнтів, які виникають в дев'ятій прокатній кліті, показав, що вони дорівнюють:

$$k_t = 0,81; k_u = 0,93; k_\varepsilon = 1,38.$$

Під дією термомеханічних коефіцієнтів середнє значення границі течії металу дорівнює: $\sigma_{t9} = 76,2 \text{ МПа}$.

Дуга контакту інструменту з оброблюваним матеріалом в дев'ятій прокатній кліті дорівнює: $l_{d9} = 57,2 \text{ мм}$;

Повний тиск металу на валки в дев'ятій прокатній кліті дорівнює:

$$P_9=399,2 \text{ кН.}$$

Коефіцієнт плеча моменту для дев'ятої прокатної кліті дорівнює: $\psi_9=0,489$.

При прокатуванні в дев'ятій прокатній кліті виникає момент прокатування, який дорівнює: $M_{пр9} = 29,5 \text{ кН}\cdot\text{м}$.

Потужність процесу обробки в дев'ятій прокатній кліті буде рівною:

$$N_9=375,8 \text{ кВт.}$$

При розрахунку силових параметрів десятої прокатної кліті враховують наступні дані:

- температура розкату дорівнює: $T_{10} = 945^\circ\text{C}$;
- швидкість прокатування в десятій прокатній кліті дорівнює:
 $v_{10} = 9,09 \text{ м/с}$;

					КНУ.РБ.136.26.112с-02.02.РТВКП	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		2.27

- діаметр валків десятої прокатної кліті дорівнює: $D_{10} = 320$ мм;
- швидкість деформації в десятій прокатній кліті дорівнює: $u_{10} = 15,6$ с⁻¹.

Розрахунок термодинамічних коефіцієнтів, які виникають в десятій прокатній кліті, показав, що вони дорівнюють:

$$k_t = 0,88; k_u = 0,95; k_\varepsilon = 1,29.$$

Під дією термомеханічних коефіцієнтів середнє значення границі течії металу дорівнює: $\sigma_{t10} = 77,9$ МПа.

Дуга контакту інструменту з оброблюваним матеріалом в десятій прокатній кліті дорівнює: $l_{d10} = 53,9$ мм;

Повний тиск металу на валки в десятій прокатній кліті дорівнює:

$$P_{10} = 360,5 \text{ кН.}$$

При прокатуванні в десятій прокатній кліті виникає момент прокатування, який дорівнює: $M_{пр10} = 26,3$ кН·м.

При розрахунку силових параметрів десятої прокатної кліті враховують наступні дані:

- температура розкату дорівнює: $T_{10} = 945^\circ\text{C}$;
- швидкість прокатування в десятій прокатній кліті дорівнює:

$$v_{10} = 9,09 \text{ м/с ;}$$

- діаметр валків десятої прокатної кліті дорівнює: $D_{10} = 320$ мм;
- швидкість деформації в десятій прокатній кліті дорівнює: $u_{10} = 15,6$ с⁻¹.

Розрахунок термодинамічних коефіцієнтів, які виникають в десятій прокатній кліті, показав, що вони дорівнюють:

$$k_t = 0,88; k_u = 0,95; k_\varepsilon = 1,29.$$

Під дією термомеханічних коефіцієнтів середнє значення границі течії металу дорівнює: $\sigma_{t10} = 77,9$ МПа.

Дуга контакту інструменту з оброблюваним матеріалом в десятій прокатній кліті дорівнює: $l_{d10} = 53,9$ мм;

Повний тиск металу на валки в десятій прокатній кліті дорівнює:

$$P_{10} = 360,5 \text{ кН.}$$

					КНУ.РБ.136.26.112с-02.02.РТВКП	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		2.28

При прокатуванні в десятій прокатній кліті виникає момент прокатування, який дорівнює: $M_{пр10} = 26,3 \text{ кН}\cdot\text{м}$.

При розрахунку силових параметрів одинадцятої прокатної кліті враховують наступні дані:

- температура розкату дорівнює: $T_{11} = 930^\circ\text{C}$;
- швидкість прокатування в одинадцятій прокатній кліті дорівнює:
 $v_{11} = 9,09 \text{ м/с}$;
- діаметр валків одинадцятої прокатної кліті дорівнює: $D_{11} = 280 \text{ мм}$;
- швидкість деформації в одинадцятій прокатній кліті дорівнює:
 $u_{11} = 17,8 \text{ с}^{-1}$.

Під дією термомеханічних коефіцієнтів середнє значення границі течії металу дорівнює: $\sigma_{t11} = 78,5 \text{ МПа}$.

Дуга контакту інструменту з оброблюваним матеріалом в одинадцятій прокатній кліті дорівнює: $l_{d11} = 52,9 \text{ мм}$;

Повний тиск металу на валки в одинадцятій прокатній кліті дорівнює:
 $P_{11} = 375,2 \text{ кН}$.

При прокатуванні в одинадцятій прокатній кліті виникає момент прокатування, який дорівнює: $M_{пр11} = 28,2 \text{ кН}\cdot\text{м}$.

При розрахунку силових параметрів дванадцятої прокатної кліті враховують наступні дані:

- температура розкату дорівнює: $T_{12} = 915^\circ\text{C}$;
- швидкість прокатування в дванадцятій прокатній кліті дорівнює:
 $v_{12} = 12,9 \text{ м/с}$;
- діаметр валків дванадцятої прокатної кліті дорівнює: $D_{12} = 280 \text{ мм}$;
- швидкість деформації в дванадцятій прокатній кліті дорівнює:
 $u_{12} = 19,2 \text{ с}^{-1}$.

Під дією термомеханічних коефіцієнтів середнє значення границі течії металу дорівнює: $\sigma_{t12} = 79,2 \text{ МПа}$.

Повний тиск металу на валки в дванадцятій прокатній кліті дорівнює:
 $P_{12} = 245,0 \text{ кН}$.

					КНУ.РБ.136.26.112с-02.02.РТВКП	Аркуш
						2.29
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

При прокатуванні в дванадцятій прокатній кліті виникає момент прокатування, який дорівнює: $M_{пр12} = 19,2 \text{ кН}\cdot\text{м}$.

При розрахунку силових параметрів тринадцятої прокатної кліті враховують наступні дані:

- температура розкату дорівнює: $T_{13} = 900^\circ\text{C}$;
- швидкість прокатування в тринадцятій прокатній кліті дорівнює:
 $v_{13} = 16,0 \text{ м/с}$;
- діаметр валків тринадцятої прокатної кліті дорівнює: $D_{10} = 280 \text{ мм}$;
- швидкість деформації в тринадцятій прокатній кліті дорівнює:
 $u_{13} = 23,5 \text{ с}^{-1}$.

Під дією термомеханічних коефіцієнтів середнє значення границі течії металу дорівнює: $\sigma_{t13} = 80,3 \text{ МПа}$.

Повний тиск металу на валки в тринадцятій прокатній кліті дорівнює:
 $P_{13} = 320,1 \text{ кН}$.

При прокатуванні в тринадцятій прокатній кліті виникає момент прокатування, який дорівнює: $M_{пр13} = 22,5 \text{ кН}\cdot\text{м}$.

Дані розрахунку заносимо в таблицю 2.2.

Таблиця 2.2 – Режими обробки для отримання сталевого круглого прокату діаметром 20 мм

№ проходу	$T^\circ\text{C}$	$v, \text{ м/с}$	$u, \text{ с}^{-1}$	$\sigma_t, \text{ МПа}$	$\Delta h, \text{ мм}$	$\varepsilon, \%$	$P, \text{ кН}$	$M_{пр}, \text{ кН}\cdot\text{м}$
1	1180	1,02	3,0	59,8	17	21,2	291,88	18,55
2	1140	1,2	4,5	60,8	16	23,4	305,1	19,5
3	1110	1,5	5,9	62,8	35	38,0	410,1	25,2
4	1080	2,0	7,8	65,3	6,9	12,2	295,2	19,9
5	1050	2,6	9,14	68,4	13,05	18,8	301,3	20,5
6	1020	3,4	11,6	70,6	15,6	34,7	402,1	23,8
7	990	4,2	13,21	72,1	11,5	20,7	298,2	28,3
8	975	5,04	13,8	74,4	15,0	39,5	412,5	31,2
9	960	7,0	14,2	76,8	18,5	35,0	399,2	29,5
10	945	9,09	15,6	77,9	8,3	32,5	360,5	26,3
11	930	11,1	17,8	78,5	13,9	33,4	375,2	28,2
12	915	13,9	19,2	79,2	4,09	18,4	245,0	18,8
13	900	16,0	23,5	80,3	9,35	31,0	320,1	23,5

					КНУ.РБ.136.26.112с-02.02.РТВКП	Аркуш
						2.30
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

При виконанні дипломної роботи було досягнуто її мету та вирішено поставлені задачі.

Проаналізовано призначення круглого прокату діаметром 20 мм і визначено, що він використовується в багатьох галузях народного господарства.

Проаналізовано матеріали, що використовують для отримання круглого прокату діаметром 20 мм, де надано перевагу конструкційній вуглецевій сталі марки Сталь 20. Досліджено її хімічний склад та механічні властивості.

Досліджено способи виготовлення виробу і надано перевагу гарячому прокатуванню. Досліджено обладнання, що забезпечує отримання круглого прокату діаметром 20 мм і надано перевагу безперервному дрібносортному прокатному стану ДС 250. Визначено його будову та принцип дії.

Визначено послідовність операцій, що дозволяють отримати якісний виріб. Визначено початковий матеріал для отримання круглого прокату, діаметром 20 мм, де перевага надано безперервно-литій заготовці, розмірами 80×80 мм.

Розраховано калібрування прокатних валків, що дозволяє отримати виріб точної форми та розмірів за мінімальну кількість проходів.

Визначено режими обтиснення, що дозволяють рівномірно розподілити ступінь деформації за проходами.

Визначено зусилля прокатування та моменти, що дозволяє оцінити енергетичні витрати на процес.

					КНУ.РБ.136.26.112с-02.В		
Вим.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата	ВИСНОВКИ Кафедра МЧМЛВ гр. МТ-23-1ск		
Розробив	Бердник						
Перевірив	Чубенко						
Рецензент							
Н. контр.	Чубенко						
Затвердив	Бабошко				Літ.	Аркуш	Аркушів
						1	1

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. Афтанділянц Є.Г., Зазимко О.В., Лопатько К.Г. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство. Частина 1. Металургія. Видавничий центр НАУ, 2005. 115 с.
3. Афтанділянц Є.Г., Зазимко О.В., Лопатько К.Г. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство. Частина 2. Металознавство. Видавничий центр НАУ, 2006. 386 с.
4. Максименко О.П., Штода М.М., Нікулін О.В. Основи калібровки прокатних валків: навчальний посібник. Кам'янське: ДДТУ, 2023. 156 с.
5. Ніколаєв В.О. Калібрування прокатних валків: навчальний посібник. Запоріжжя: ЗГИА. 2015. 163 с.
6. Серeda Б.П., Белоконь Ю.О. Теорія прокатки: навчально-методичний посібник для студентів ЗДІА спеціальності 6.05040104 «Обробка металів тиском». Запоріжжя: ЗДІА, 2013. 105 с.
7. Серeda Б. П. Прокатне виробництво: навч. посіб. Запоріжжя: ЗДІА, 2009. 344 с.
8. Бережний М.М., Хіноцька А.А. Паливо та металургійні печі: монографія. Кривий Ріг: Діонат, 2012. 380 с.
9. Данченко В.М., Гринкевич В.О., Головка О.М. Теорія процесів обробки металів тиском: підручник. Дніпропетровськ: Пороги, 2008. 372 с.
10. Бережний М.М., Чубенко В.А. Основи проектування технологічних ліній та комплексів металургійних цехів: монографія. Кривий Ріг: Видавничий дім, 2010. 444 с.

					КНУ.РБ.136.26.112с-02.Л					
Вим.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата	ЛІТЕРАТУРА					
Розробив	Бердник							Літ.	Аркуш	Аркушів
Перевірив	Чубенко								1	2
Рецензент								Кафедра МЧМЛВ гр. МТ-23-1ск		
Н. контр.	Чубенко									
Затвердив	Бабошко									

11. Чубенко В.А., Хіноцька А.А. Технологія процесів обробки металів тиском: навчальний посібник. Кривий Ріг: Видавець Чернявський Д.О., 2020. 208 с.
12. 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.
13. 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.
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*: зб. наук. пр. Кривий Ріг, 2012. Вип. 30. С. 171–174.
15. 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.
16. 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.
17. Серєда 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.
18. <http://akademperiodyka.org.ua/docs/Posylannia>.
19. СТОУ-02-14. Загальні вимоги та правила оформлення текстових та графічних студентських магістерських робіт. Кривий Ріг: КНУ, 2014. 18 с.
20. 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).
21. ДСТУ 3008:2015 «Інформація та документація. Звіти у сфері науки і техніки. Структура та правила оформлювання». Київ: УкрНДНЦ, 2016. 31 с.

					КНУ.РБ.136.26.112с-02.Л	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		2