

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

КАФЕДРА МЕТАЛУРГІЇ ЧОРНИХ МЕТАЛІВ І ЛИВАРНОГО ВИРОБНИЦТВА

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
до випускної атестаційної роботи бакалавра
зі спеціальності 136 – **Металургія**

**Тема роботи: «АНАЛІЗ ТА РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЧНОГО
ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ СТАЛЕВОГО КВАДРАТУ
ПОПЕРЕЧНОГО ПЕРЕРІЗУ 12×12 мм»**

Виконав:

студент групи МТ-23-1ск _____ Богдан СКОРКІН

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

Скоркін Богдан Володимирович

1. Тема роботи: Аналіз та розробка технологічного процесу виготовлення сталевго квадрату поперечного перерізу 12×12 мм

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: безперервний прокатний стан ДС 250 4; рекуперативна методична піч (ширина 12,6 м; довжина 15,2 м. продуктивність печі дорівнює: 110 т/година); початковий матеріал – квадратна форма розмірами 80×80 мм (довжина 12 м, маса 600 кг).

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

1. Характеристика та аналіз використання сталевго квадрату поперечного перерізу 12×12 мм: призначення, матеріал, прокатування сталевих матеріалів, обладнання для прокатування квадратної сталі зі стороною 12 мм.

2. Розробка технологічного процесу виготовлення сталевго квадрату поперечного перерізу 12×12 мм: технологічні операції; калібрування квадратної сталі; термічна обробка квадратного профілю, розрахунок енергосилових параметрів прокатки для отримання квадратної сталі 12 мм.

5. Перелік графічного матеріалу

Загальний вигляд квадратного профілю. Матеріал для виготовлення квадратного профілю 12×12 мм – низьковуглецева сталь Ст3. Схема розташування обладнання стану 250-4. Технологічний процес виготовлення сталевго прокату. Схема калібрування прокатних валків. Енергосилові параметри прокатування квадратної сталі.

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	Характеристика та аналіз використання сталевих квадратів поперечного перерізу 12×12 мм	09.02-25.02.2026
4	Призначення та матеріал сталевих прокатів, обладнання, прокатування сталевих матеріалів	26.02-10.03.2026
5	Розробка технологічного процесу виготовлення сталевих квадратів поперечного перерізу 12×12 мм	11.03-10.04.2026
6	Технологічні операції, калібрування квадратної сталі	11.04-30.04.2026
7	Термічна обробка квадратного профілю. Розрахунок енергосилових параметрів прокатки для отримання квадратної сталі	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	23.06.2026

Дата видачі завдання « 19 » 02 2026 р.

Здобувач вищої освіти _____ Богдан СКОРКІН
(підпис)

Керівник випускної кваліфікаційної роботи _____ Вікторія ЧУБЕНКО
(підпис)

РЕФЕРАТ

до випускної кваліфікаційної роботи на тему:

«Аналіз та розробка технологічного процесу виготовлення сталевих квадратів поперечного перерізу 12×12 мм»

Пояснювальна записка: 54 стор., 4 табл., 3 рис., 18 літературних джерел.

Об'єкт дослідження: виготовлення сталевих квадратів.

Предмет дослідження: закономірності гарячого прокатування сталевих квадратів.

Мета роботи: розробити технологію виготовлення сталевих квадратів поперечного перерізу 12×12 мм.

Методи дослідження: робота базується на теоретичних методах теорії прокатного виробництва, теорії пластичної деформації матеріалів, на розрахункових методах калібрувань прокатних валків, визначення режимів обтиснення, швидкісних режимів, енергосилових параметрів процесу прокатування.

Результати роботи: досліджено призначення та матеріал для виготовлення квадратів 12×12 мм, визначено способи виготовлення квадратного профілю та обладнання для його виготовлення, розраховано калібрування прокатних валків для отримання квадратів 12×12 мм за мінімальну кількість проходів, визначено ступень деформації за проходами, швидкість режими прокатування та витрати енергії на процес.

СТАЛЕВИЙ КВАДРАТ, ГАРЯЧЕ ПРОКАТУВАННЯ, КАЛІБРУВАННЯ,
СТУПІНЬ ДЕФОРМАЦІЇ, АБСОЛЮТНЕ ОБТИСНЕННЯ

					КНУ.РБ.136.26.112с-11.Р					
Вим.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата	РЕФЕРАТ					
Розробив	Скоркін							Літ.	Аркуш	Аркушів
Перевірив	Чубенко							1	1	
Рецензент								Кафедра МЧМЛВ гр. МТ-23-1ск		
Н. контр.	Чубенко									
Затвердив	Бабошко									

ВІДОМІСТЬ МАТЕРІАЛІВ

Перв. примен.	№ строки формат	Обозначение	Наименование	Кол. листов	№ экз.	Приме- чание
	1					
	2	A4	КНУ.РБ.136.26.112с-11.ПЗ	Пояснювальна записка	54	
	3					
	4			Графічна частина		
	5			(Презентація)		
Справ. №	6	A4	КНУ.РБ.136.26.112с-11.01	Загальний вигляд		
	7			квадратного профілю	1	
	8	A4	КНУ.РБ.136.26.112с-11.02	Матеріал для виготовлення		
	9			квадратного профілю	1	
	10	A4	КНУ.РБ.136.26.112с-11.03	Схема розташування		
	11			обладнання стана 250-4	1	
	12	A4	КНУ.РБ.136.26.112с-11.04	Технологічний процес виготовлення		
	13			квадратного квадрату	1	
Подп. и дата	14	A4	КНУ.РБ.136.26.112с-11.05	Калібрування прокатних валків	1	
	15	A4	КНУ.РБ.136.26.112с-11.06	Схема калібрування		
	16			прокатних валків	1	
	17	A4	КНУ.РБ.136.26.112с-11.07	Енергосилові параметри		
Инв. № дубл.	18			прокатування квадратної сталі	1	
	19					
	20					
Взам. инв. №	21					
	22					
	23					
Подп. и дата	24					
Инв. № подл.	КНУ.РБ.136.26.112с-11.В0					
	Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	
Инв. № подл.	Разраб.	Скоркін				
	Пров.	Чуденко				
	Н.контр.	Чуденко				
	Утв.	Бабашко				
Відомість об'єму матеріалів кваліфікаційної роботи Чертеж общего вида				Лит.	Лист	Листов
				р δ	1	1
				кафедра МЧМ/ЛВ група МТ-23-1ск		
Копировал				Формат А4		

ЗМІСТ

РЕФЕРАТ.....	4
ВІДОМІСТЬ МАТЕРІАЛІВ.....	5
ВСТУП.....	7
1 ХАРАКТЕРИСТАКА ТА АНАЛІЗ ВИКОРИСТАННЯ СТАЛЕВОГО КВАДРАТУ ПОПЕРЕЧНОГО ПЕРЕРІЗУ 12×12 мм.....	9
1.1 Загальна характеристика сталевих квадратного профілю.....	9
1.2 Призначення та матеріал сталевих квадратного 12×12 мм.....	13
1.3 Прокатування сталевих матеріалів.....	15
1.4 Обладнання для прокатування квадратної сталі зі стороною 12 мм.....	17
2. РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ СТАЛЕВОГО КВАДРАТУ ПОПЕРЕЧНОГО ПЕРЕРІЗУ 12×12 мм.....	29
2.1 Послідовність технологічних операцій з виготовлення сталевих квадрату стороною 12 мм.....	29
2.2 Калібрування квадратної сталі 12×12 мм.....	30
2.3 Термічна обробка квадратного профілю 12×12 мм.....	45
2.4 Розрахунок енергосилових параметрів прокатки для отримання квадратної сталі 12×12 мм.....	47
ВИСНОВКИ.....	52
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	53

					КНУ.РБ.136.26.112с-11.3					
					ЗМІСТ					
Вим.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата				Літ.	Аркуш	Аркушів
Розробив		Скоркін							1	1
Перевірив		Чубенко								
Рецензент										
Н. контр.		Чубенко			Кафедра МЧМЛІВ гр. МТ-23-1ск					
Затвердив		Бабошко								

ВСТУП

Квадратний профіль розмірами 12×12 мм – це дуже затребувана продукція в народному господарстві через те, що з нього виготовляють безліч виробів, які використовуються в будівній та машинобудівній промисловості, в сільському господарстві та на транспорті, в авіаційній промисловості та в побуті.

Основна перевага квадратного профілю в порівнянні з іншими у тому, що він має високу точність геометричних параметрів. Сталевий квадратний профіль можна використовувати як готовий виріб, а можна, як напівфабрикат, який спрямовується на подальше обробку в ковальсько-штампувальні та волочильні чехи, в цехи механічної та термічної обробки.

Тому дослідити і розробити оновлену технологію виготовлення сталевого прокату є задача актуальна, яка дозволить задовільнити потреби народного господарства.

Сталевий матеріал добре піддається обробки тиском в гарячому стані. Самий розповсюджений спосіб – це гаряче прокатування. Тому в роботі пропонується виготовляти сталевий квадратний профіль розмірами 12×12 мм гарячим прокатуванням.

Мета роботи: розробити технологію виготовлення сталевого квадрату поперечного перерізу 12×12 мм.

Для досягнення цієї мети потрібно вирішити наступні задачі:

- проаналізувати призначення сталевого квадратного виробу розмірами 12×12 мм та визначити матеріал для його виготовлення;
- дослідити способи виготовлення квадратного профілю 12×12 мм та обрати раціональній;

					КНУ.РБ.136.26.112с-11.ВС			
Вим.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата	ВСТУП	Літ.	Аркуш	Аркушів
Розробив	Скоркін						1	2
Перевірив	Чубенко							
Рецензент								
Н. контр.	Чубенко							
Затвердив	Бабошко					Кафедра МЧМЛВ гр. МТ-23-1ск		

- дослідити обладнання для гарячого прокатування сталевого профілю 12×12 мм;
- визначити послідовність операцій для отримання вірного профілю гарячим прокатуванням;
- розрахувати калібрування прокатних валків для отримання вірного профілю за мінімальну кількість проходів на прокатному стані;
- визначити режими обтиснення та швидкісний режим прокатування;
- розрахувати витрати енергії на процес прокатування квадратного профілю 12×12 мм.

					КНУ.РБ.136.26.112с-11.ВС	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		2

1 ХАРАКТЕРИСТАКА ТА АНАЛІЗ ВИКОРИСТАННЯ СТАЛЕВОГО КВАДРАТУ ПОПЕРЕЧНОГО ПЕРЕРІЗУ 12×12 мм

1.1 Загальна характеристика сталевих квадратного профілю

У промисловому виробництві сталевий квадрат використовується для виготовлення різних виробів. Основна його перевага в порівнянні зі звичайним металевим прутком – це висока точність геометричних параметрів, максимальна відповідність якості поверхні нормативним вимогам. Сталевий матеріал, що має квадратний поперечний переріз (рис. 1.1) в промисловості можна використовувати у вигляді готового виробу, або у вигляді напівфабрикату, який отримує в результаті подальшої обробки необхідні геометричні розміри та параметри, потрібні експлуатаційні властивості. Такий металовиріб служить основою для майбутніх конструкцій в народному господарстві. Використовується він в різних сферах людської діяльності.

Квадратний профіль є дуже затребуваний та відноситься до сортового прокату. Він є досить щільний за структурою. Квадратний профіль виготовляється, як правило, з якісних марок сталей, розповсюджені його розміри від 6 мм до 200 мм. квадратний профіль має правильну чотирикутну рівнобічну форму поперечного перерізу. Постачається квадратний профіль, як правило, в прутках або штангах, для квадратних виробів, що мають малі поперечні перерізи, використовують постачання в мотках та бухтах.

В мотках відбувається постачання для квадратної сталі, що має розмір поперечного перерізу менше 5 мм. Якщо поперечний переріз квадратної сталі більше 5 мм, то вона постачається у вигляді прутків.

					КНУ.РБ.136.26.112с-11.01.ХАВСК			
Вим.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата	ХАРАКТЕРИСТИКА ТА АНАЛІЗ ВИКОРИСТАННЯ СТАЛЕВОГО КВАДРАТУ	Літ.	Аркуш	Аркушів
Розробив	Скоркін						1.1	20
Перевірив	Чубенко					Кафедра МЧМЛВ гр. МТ-23-1ск		
Рецензент								
Н. контр.	Чубенко							
Затвердив	Бабошко							



Рисунок 1.1 – Загальний вигляд квадратного профілю

Сталевий квадратний профіль застосовується в багатьох галузях народного господарства; в машинобудуванні, будівництві, верстатобудуванні, автомобілебудуванні, вагонобудуванні, в оформленні інтер'єрів, на залізниці тощо.

Металевий квадратний профіль добре витримує задану форму, доволі міцний виріб, витримує різні механічні впливи.

В машинобудуванні його використовують для виготовлення різних деталей механізмів, що здатні витримувати великі навантаження. З квадратного профілю можна отримати штовхачі, вали, шпинделі, шайби. Квадратний профіль використовують для отримання заготовок фасонного поперечного перерізу, для виготовлення інструменту.

					КНУ.РБ.136.26.112с-11.01.ХАВСК	Аркуш
						1.2
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

В будівництві та архітектурі сталевий квадрат використовують для зведення несучих металокопункцій, балок, колон. Такий профіль застосовують для армування залізобетонних копункцій з метою підвищення їх міцності; використовують квадратний профіль для виготовлення різних каркасів та опорних систем; застосовують для облаштування балконів, сходів.

В будівництві квадратний профіль має перевагу через те, що він зносостійкий, добре зварюється, витримує задану форму, міцний, стійкий до вологи й ультрафіолету, а також механічних впливів.

Прокатний металовиріб квадратного поперечного перерізу широко застосовують в ковальському виробництві для отримання кованих та декоративних виробів таких, як решітки, паркани, лавки, ворота. Використовують квадратний профіль для створення витих та кручених виробів.

Ковані вироби використовують для отримання для точних технічних виробів таких, як штовхачі, вісі, вали. Калібрований квадратний профіль користується попитом при виготовленні шпинделів, плунжерів, шестерень, циліндрів, кулачків

Прокат квадратного профілю також має побутове використання при виконанні дрібних ремонтно-будівельних робіт.

В верстатобудуванні квадратний профіль набув широке використання через те, що калібрований квадратний профіль, виготовлений зі сталі 20, сталі 45 має добрі властивості в якості початкового матеріалу при створенні виробів для верстатів та їх різних механізмів. У випадку виготовлення деталей зі сталі марки 30ХН3А, вони характеризуються довготривалою роботою.

Широке застосування квадратний профіль отримав у вагобудуванні для створення пружин, які використовуються на відповідальних операціях при з'єднанні одиниць рухомого складу. У випадку, коли прутки, квадратного поперечного перерізу не мають пошкоджень, перекручень, тріщин, задирок та розшарувань, їх застосовують для кріплення вагонів, що мають різні вантажу. З

					КНУ.РБ.136.26.112с-11.01.ХАВСК	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		1.3

них можна робити стяжки та обв'язки. Для виконання таких операцій площа поперечного перерізу металовиробу повинна бути більшою за 20 мм².

В автомобілебудуванні вироби квадратного поперечного перерізу використовують в якості початкового матеріалу для виготовлення запасних частин та деталей, що застосовують в автотранспорті. Для таких деталей машин переважно потрібно застосовувати сталеві матеріали марок Сталь 75, Сталь 55С2, 40ХН2МА. Процес гарячого прокатування при виготовленні таких металовиробів дозволяє додатково збільшити міцність такого продукту, що робить його більш стійким, міцним та надійним.

У випадку використання нержавіючого матеріалу, що стійкий до агресивних середовищ та корозії, виготовляють різні деталі та механізми для сільськогосподарської техніки, роблять пруткові притискні клеми.

Квадратний профіль широко застосовують при художньому декоруванні внутрішнього середовища різних будівель та споруд. Для цього відмінно підходить сталевий матеріал звичайної якості марки Ст 3. Для оформленні сходів та решіток камінів можна використовувати низьколеговану якісну сталь марки 09ГС2.

Прутки зі сталі 20 мають добру еластичність, хорошу стійкість до перепадів температур, добре зварюються. Такий прокат можна використовувати для оформлення вуличного та міського ландшафту. З такого матеріалу виготовляють оригінальні малі архітектурні форми: павільйони, альтанки.

Ковані огорожі та ґрати зі сталі 45 широко використовують для покращення зовнішнього вигляду вулиць, сквер та дворів. Сталь 3 використовується для незамінних предметів інтер'єрів вулиць, скверів, парків. Цей же матеріал використовують для виготовлення меблів.

Квадратний профіль широке розповсюдження на залізниці отримав через те, що він має широкий попит при утворенні високоміцного кріплення, що використовується при укладанні сталевих рейок та шпал під час будівництва або

					КНУ.РБ.136.26.112с-11.01.ХАВСК	Аркуш
						1.4
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ремонті шляху для рухомого складу. До сталевих профілю квадратного поперечного перерізу можна кріпити шпали та рейки. Для цього використовується сталевий прокату наступних марок: Сталь 20, Ст 3, 09Г2С. Такий матеріал можна використовувати в якості кранової профільованої смуги, що дає можливість укласти її без притисків.

1.2 Призначення та матеріал сталевих квадратів 12×12 мм

Сталевий квадрат 12×12 мм призначено для побудови легких конструкцій в будівельній промисловості, з нього виготовляють різні елементи сільськогосподарського обладнання. Квадрат 12×12 мм використовують в машинобудуванні та для побутових потреб. Такий металовиріб служить універсальним та доступним початковим матеріалом для створення різних виробів завдяки своїй міцності та простій формі.

Одна з важливих переваг квадрата 12×12 в тому, що він має правильну геометрію.

Квадрат розмірами 12×12 мм широко застосовується при зведенні об'єктів житлового та нежитлового фонду при побудові сходів, балконів, різних елементів перекриття. Такий матеріал використовують при облаштуванні та облагородженні територій, що знаходяться під відкритим небом: будують решітки та огорожі в парках, скверах, присадибних ділянках; знаходиться використання в автомобілебудуванні в якості заготовок для різних деталей; виготовляють з нього клеми та шайби при будівництві та ремонті залізничних колій.

Згідно зі стандартами ГОСТ 2591-88, ДСТУ 4746:2007 сталевий квадрат можна виготовляти двома способами;

- гарячим прокатуванням;
- холодним прокатуванням або калібруванням.

В результаті прокатування початковий матеріал обтискується прокатними валками, що знаходяться в декількох прокатних клітках, в результаті чого

					КНУ.РБ.136.26.112с-11.01.ХАВСК	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		1.5

поперечний переріз вихідного матеріалу поступово зменшується і набуває потрібної форми та розмірів.

В результаті холодного прокатування отримують калібрований квадрат 12×12 мм, який має більш високу точність розмірів, відмінну якість зовнішньої поверхні, кращі фізико-механічні властивості. Але така обробка використовується для виробів, що мають дрібний початковий поперечний переріз початкового матеріалу, або при обробці м'яких матеріалів, які добре пластично деформуються без попереднього нагрівання.

Для отримання квадрату, що має розміри 12×12 мм будемо використовувати матеріал сталь Ст3 (Ст 3сп). Це конструкційна вуглецева сталь звичайної якості.

В таблиці 1.1 наведено хімічний склад такої сталі.

Таблиця 1.1 – Хімічний склад сталі Ст 3

C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	N	Cu	As	Fe
0,14- 0,22	0,15- 0,3	0,4- 0,65	<0,3	<0,05	<0,04	<0,3	<0,008	<0,3	<0,08	≈97

Твердість HB 131 МПа;

Межа міцності при розтягуванні 380 МПа;

Межа плинності 205 МПа;

Відносне подовження 25 %.

Для отримання прокату, що має квадратний поперечний переріз 12×12 мм з безперервно-литої заготовки розміром 80x80 мм з вуглецевої сталі звичайної якості Ст 3 будемо використовувати процес гарячого прокатування, де безперервно-литий матеріал перед обробкою нагрівається з метою зменшення опору деформації. Температура нагрівання такого матеріалу дорівнює 1200°C. В такому стані матеріал легко деформується і дозволяє отримати точну формку та розміри.

					КНУ.РБ.136.26.112с-11.01.ХАВСК	Аркуш
						1.6
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.3 Прокатування сталевих матеріалів

Прокатування – це процес обробки металів тиском, де оброблюваний матеріал втягається в щілину між прокатними валками завдяки силам тертя і там пластично деформується з метою отримання заданої форми та розмірів.

Таким чином, в результаті прокатування отримують різні профілі. Сукупність таких профілів та їх розмірів складає сортамент прокатних виробів.

Існує безліч можливих сортamentів прокату, але усіх їх можна поділити на чотири групи:

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

Самим розповсюдженим є сортовий прокат, який використовується в багатьох галузях народного господарства: машинобудування, будівництво, залізниця, сільському господарстві тощо. Сортів профілі можуть використовуватися як готові вироби, або іти на подальшу обробку: куванням, штампуванням, волочінням, механічну обробку тощо.

Сортів профілі класифікують за декількома ознаками:

- за розмірами;
- формою;
- призначенням.

За розмірами сортова сталь класифікується на

- крупносортову, до якої відносять ті вироби, що мають поперечні розміри понад 80 мм;
- середньо сортову, до якої відносять ті вироби, що мають поперечні розміри від 30 мм до 80 мм;
- дрібносортову, до якої відносять ті вироби, що мають поперечні розміри від 10 до 30 мм;

					КНУ.РБ.136.26.112с-11.01.ХАВСК	Аркуш
						1.7
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- катанку, до якої відносять ті вироби, що мають діаметр поперечного перерізу від 5 мм до 9 мм

За формою сортової сталі поділяють на прості і складні, або фасонні профілі.

До простих профілів відносять ті профілі, у яких дотична до будь-якої точки периметру поперечного перерізу не перетинає цей переріз. До таких профілів відносять прокатні вироби квадратного, круглого, прямокутного, шестикутного поперечного перерізу, смуги, штрипс тощо.

До фасонних профілів відносять кутові профілі, швелери, двотаврові балки, рейки та інші профілі, що мають складну форму поперечного перерізу. Їх, як правило, використовують в якості готових виробів.

За призначенням сортової профілі класифікують на профілі:

- загального призначення;
- галузевого призначення;
- спеціального призначення.

Самий розповсюджений профіль – це прокат загального призначення. До таких видів прокату відносять круглий прокат, квадратний, шестикутний.

До профілів галузевого призначення відносять специфічні профілі для даної галузі: рейки трамвайні, залізничні, рудничні, шпунтові палі тощо.

Профілі спеціального призначення використовують для конкретних видів виробництв, наприклад, жолобчасті профілі для ресор транспортних засобів, кругла або шестигранна сталь для виготовлення бурів тощо.

Сталевий квадратний прокат розмірами 12×12 мм відноситься до дрібносортового прокату загального призначення.

Усі процеси прокатування класифікують за декількома ознаками:

- за взаємним розміщенням у просторі осей деформуємого матеріалу та прокатних валків;
- за температурою прокатування;
- за зміною зазору між прокатними валками;

					КНУ.РБ.136.26.112с-11.01.ХАВСК	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		1.8

- за наявністю зовнішніх сил, які прикладено до кінців розкату;
- за взаємодією оброблюваного матеріалу з валками.

За взаємним розташуванням осей оброблюваного матеріалу та інструменту процеси прокатування поділяють на поздовжнє, поперечне, та поперечно гвинтове.

При поздовжньому прокатуванні осі оброблюваного матеріалу розташовують перпендикулярно до інструменту. В результаті цього інструмент набуває обертального руху, де прокатні валки обертаються один назустріч іншому, а оброблювана смуга рухається поступово. Такий вид обробки використовують для виготовлення усіх видів сортових профілів загального призначення.

При поперечному прокатуванні осі прокатних валків і оброблюваного матеріалу розташовують паралельно. Інструмент отримує обертальний рух, оброблюваний матеріал також обертається назустріч прокатним валкам. Поперечне прокатування використовують для виготовлення тіл обертання: валів, дисків, осей тощо.

При поперечно-гвинтовому прокатуванні оброблюваний матеріал розташовують під деяким кутом до інструменту. В результаті цього інструмент має обертальний рух, оброблюваний матеріал одночасно обертається і рухається поступово. Такий вид обробки широко використовується при отриманні отворів у суцільному матеріалі.

Для виготовлення дрібносортового профілю квадратного поперечного перерізу 12×12 мм будемо використовувати поздовжнє прокатування.

1.4 Обладнання для прокатування квадратної сталі зі стороною 12 мм

Для прокатування використовується обладнання, що має назву прокатного стану.

Прокатний стан – це складний комплекс машин та механізмів, що забезпечує отримання металовиробів завдяки здатності металевого сплаву до пластичної деформації.

					КНУ.РБ.136.26.112с-11.01.ХАВСК	Аркуш
						1.9
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Усі прокатні стани класифікують за декількома ознаками:

- за призначенням;
- за температурою прокатування;
- за принципом дії;
- за кількістю робочих клітей;
- за кількістю прокатних валків у робочій кліті.

За призначенням прокатні стани класифікують в залежності від виду продукції.

Для отримання дрібносортового прокату, що має квадратних поперечний переріз, розміром 12×12 мм будемо використовувати дрібносортовий прокатний стан. Продукції будемо виготовляти гарячим прокатуванням.

За принципом дії прокатні стани класифікують на стани реверсивної дії, безперервної дії та напівбезперервної дії.

Для отримання продукції квадратного поперечного перерізу 12×12 мм будемо використовувати безперервний прокатний стан, який є самий сучасний і найпродуктивнішим.

З метою отримання продукції квадратного поперечного перерізу 12×12 мм будемо використовувати дрібносортовий безперервний прокатний стан ДС 250.

Цей прокатний стан призначений для отримання дрібносортового прокату наступних профілів:

- сталь кругла діаметром 8-30 мм;
- сталь квадратна, що має розмір сторони квадрату 8-27 мм;
- сталь для армування залізобетонних конструкцій номерів №№ 10-28;
- сталь шестигранна, що має діаметр вписаного кола 8-27 мм.

Таке виробництво забезпечують дрібносортові прокатні стани 250 -4 і 250-5. З метою забезпечення максимальної продуктивності й скорочення парку валків дрібносортні стани 250–4-5 спеціалізуються на виготовленні прокатних виробів наступного сортаменту (табл. 1.1).

					КНУ.РБ.136.26.112с-11.01.ХАВСК	Аркуш
						1.10
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 1.1 – Сортамент що випускає СПЦ-2

Вид прокату	Розміри профілів, мм	
	Дрібносортний стан	
	250-4	250-5
Сталь круглого поперечного перерізу	12-14	14 - 30
Сталь квадратного поперечного перерізу	12-14	14, 16, 20, 22
Сталь для армування залізобетонних конструкцій	№ 12, 14	№ 14 – 40
Сталь шестигранного поперечного перерізу	-	17, 19, 22, 24, 27
Сталь стрижнева арматурна термозміцнена, що має періодичний профіль	-	№ 14 – 32

Для отримання дрібносортового квадратного профілю зупиняємося на дрібносортовому прокатному стані ДС 250-4.

Основні операції з виготовлення прокату на дрібносортовому прокатному стані враховують рідготування початкового матеріалу до прокатування, нарівання його, прокатування в чорнових та чистових клітках, оброблення прокату. Підготування матеріалу відбувається на складі заготовок. До прокатного стану початковий матеріал може надходити як у гарячому так і у холодному стані. Гарячі заготовки завантажують в нагрівальну піч для їх підігрівання до температури прокатування. Холодні заготовки зберігаються на ад'юстажі.

Заготовки, які підготовлені до прокатування укладають пратцен кранами на завантажувальні ґрати, з яких поштучно передають на рольганг за допомогою транспортуючих пристроїв. Початковий матеріал потрібно укладати на прийомні ґрати рівномірно в один шар, поплавно без розривів таврованим торцем до

					КНУ.РБ.136.26.112с-11.01.ХАВСК	Аркуш
						1.11
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

робочої площадки. Початковим матеріалом для прокатування на безперервному дрібносортному прокатному стані служить заготовка квадратного поперечного перерізу 80x80 мм і довжиною від 10,5 до 11,5 м. заготовки передаються за допомогою приймальної решітки.

Підготовлені заготовки транспортують до нагрівної методичної печі і завантажують в неї за допомогою втаскуючих пристроїв.

Браковані заготовки з підволячого ролгангу за допомогою спеціального скидувача скідають у кишеню. Ці заготовки потрібно відремонтувати і посадити в нагрівальну піч окремою партією.

Далі відбувається нагрівання заготовок в методичній печі до потрібної температури, яка залежить від марки нагріваємого матеріалу.

Для нагрівання матеріалів використовують механізовані рекуперативні методичні печі. Такі печі мають дві самостійно опалювальні зони: томильну зону та зварювальну. Кожна з цих зон має дві пальники, що використовують для сполювання палива. Печі мають монолітний похилий под. посадка та видача заготовок – бічна. Продуктивність печі не більше 100 шт заготовок за годину. Пересування оброблюваного матеріалу в печі здійснюється штовхачем. Видача заготовок з печі здійснюють за допомогою спеціального виштовхувача.

Після видачі з печі нагрітої заготовки відбувається її прокатування на прокатному стані. Кількість проходів між прокатними клітьми залежить від потрібного профілю та розмірів прокату. Прокатні валки будемо використовувати з чавуну, що має пластинчастий графіт. Кожна прокатна кліть має комплект прокатних валків однакового діаметру бочки валків. Для забезпечення процесу безперервності розташування прокатних валків чергується вертикальне з горизонтальним.

Валки встановлюють в підширники рідинного тертя. Такі підширники здатні забезпечити надійну роботу прокатного стану при усюві її вірної експлуатації, щбирання та зберігання.

					КНУ.РБ.136.26.112с-11.01.ХАВСК	Аркуш
						1.12
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Заготовки, які видані з методичної розподіляють за допомогою розподільного столу. Максимальна кількість проходів на даному прокатному стані дорівнює 15.

Для обрізання переднього кінця розкату між чорнової та чистовою групами прокатних клітей встановлені летючі ножиці, які здатні розрізати матеріал при високій швидкості руху. Існує можливість виконувати обрізання переднього кінця розкату на відстані від 50 до 150 мм. такі ножиці також можуть виконувати і аварійне обрізання та обрізання на мірні довжини або розподіл на частини.

Перед чистовою групою прокатних клітей встановлюють обрізні ножиці. Вони призначені автоматично відрізати задній кінець розкату, який застряг в чистових клітях прокатного стану, чим зменшують кількість путанки між прокатними клітями.

Після прокатування в чистових прокатних клітях розрізають на летючих двобарабаних ножицях на довжини, які дозволяють їх подавати на холодильник. Такі ножиці здійснюють розрізання розкату на певну кількість рівних довжин в залежності від профілю та розмірів матеріалу, що оброблюється.

Отриманий виріб переміщується по холодильнику, де охолоджується, після чого збирається у пакети та подається до ножиць холодного розрізання, де відбувається розрізання на мірні довжини.

Готовий прокат, розрізаний на мірні довжини, від ножиць холодного розрізання транспортується до приймальних кишень-вагів за допомогою рольгангу. З рольгангу за допомогою спеціальних скидувачів прокат скидається у кишень-ваги, після чого надходить на обв'язнення.

Далі виконується контроль якості прокату і приймання готової продукції в у відділі управління технічного контролю. Також відбувається і сортування прокату.

Відбракований прокат відправляють на відповідний рольганг, що здійснюється прибиральниками гарячого металу під контролем управління технічного контролю.

					КНУ.РБ.136.26.112с-11.01.ХАВСК	Аркуш
						1.13
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Одна партія прокату повинна складатися із виробів однієї марки сталі та однакового розміру. Розміри та граничні відхилення від номінальних розмірів, загальна та місцева кривизна прокату, скручення, довжина та допуски до довжини повинні відповідати діючим стандартам. Кожен сорт прокату повинен відповідати відповідній характеристиці металопродукції. Прокат, який був відбракований і прокат особливого призначення направляють на обробку, після чого здійснюють поштучне сортування та приймання, що здійснюється за профілями, партіями та плавками.

Прокат, що вимагає поштучного сортування, знаходиться на спеціальних, добре освітлених стелажах на ділянках гарячого прибирання металу.

На цих стелажах відбувається сортування та ремонт прокату. Усі матеріали, що були в ремонті підлягають ретельному огляду та обмірванню. Враховуючи результати огляду та вимірювання прокат здають за першим або другим сортом.

Говий прокат підлягає контролю у розсортованому вигляді, після чого його упаковують та маркують відповідно до стандартів.

Далі відбувається ув'язнення прокату. Ув'язнення виконується ручним способом. В пачці прокат повинен бути щільно покладений та міцно ув'язнений в поперечному напрямку. Пакування прокату повинно відповідати стандартам і не порушуватися під час його перевезення. Прокат, що має довжину 6 м повинен бути ув'язаний не менше, як в двох місцях, що має довжину від 6 м до 9 м повинен бути ув'язнений не менш як в трьох місцях, при довжині від 6 м до 12 м – не менше, як у чотирьох місцях.

Кожна пачка повинна мати прокат тільки однієї партії. Відбувається додаткове маркування готового прокату фарбою, яка не змивається, в кольори відповідно до вимог контракту. Незалежно від кольору маркування, на кожен пачку надівають три маркувальні ярлики, де вказується назву підприємства виробника, марка салі, номер партій та номер плавки, профіль та довжина, маса, клеймо ВТК.

					КНУ.РБ.136.26.112с-11.01.ХАВСК	Аркуш
						1.14
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Безперервний прокатний стан ДС 250 4 має в своєму складі наступні вузли:

1. Завантажувальний шлепер – здійснює приймання заготовок зі складу вихідних матеріалів та їх подачі на підвідний рольганг. Здійснює максимальне завантаження 70 т. має максимальний темп подачі 20 с. Середня швидкість транспортування шлепера складає 0,083 м/с.

2. Завантажувальний рольганг здійснює подачу заготовок від шлеперів до втягуючих пристроїв. Він має в своєму складі три холостих та 42 привідних ролика, що мають діаметр 250 мм та довжину 400 мм.

3. Знімальний пристрій служить для видалення заготовок, які мають поверхневі дефекти, з завантажувальних рольгангів до кишені. Кількість скидальних пристроїв – 3 штуки.

4. Втаскуючий пристрій служить для подачі заготовок від підвідного рольгангу у ранрівну методичну піч. Такий пристрій має у своєму складі станину, привід, редуктор та привідні ролики. Пристрій має зусилля втаскування 350 кг, працює зі швидкістю 1,57 м/с.

Для нагрівання матеріалів перед прокатуванням використовується нагрівальна піч. Вона забезпечує нагрівання заготовок з вуглецевої та легованої сталі до температур прокатування.

Тип нагрівальної печі – рекуперативна методична, яка має дві зони опалення, монтажний похилий під. Для неї характерна бічна посадка та видача матеріалів. Піч працює за безперервним режимом роботи. Матеріали, що нагрівають мають розміри: поперечний переріз 80×80, довжина 11,0 м, вага 600 кг.

Піч має наступні геометричні розміри: ширина 12,6 м; довжина 15,2 м. продуктивність печі дорівнює: 110 т/година.

Печі, які встановлено на дрібносортовому стані ДС 250-4 працюють на природному газі при теплоті згорання 8050 кКал/нм³, але може працювати і на коксовому газі з теплотою згорання 4015 кКал/нм³.

					КНУ.РБ.136.26.112с-11.01.ХАВСК	Аркуш
						1.15
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У товцевій частині печі встановлено штовхач заготовок, який призначено для проштовхування заготовок по поду печі. Тап штовхачу – кривошипно-важільний. Переміщує матеріали з зусиллям 41 т та швидкістю 0,18 м/с.

Після нагрівання заготовок, вони видаються із печі за допомогою виштовхувачх пристроїв. Тип виштовхуючого присторою – штанговий. Видає заготовки зі швидкістю – 1,5 м/с. На рисунку 1.2 наведено схему розташування обладнання дрібносортового прокатного стану ДС 250-4.

Для виштовхування заготовок та транспортування їх до рольганга використовують витягуючий пристрій. Кількість таких пристроїв дорівнює 2 шт. Транспортування відбувається зі швидкістю 0,6 м/с.

Сполучний рольганг розташовано від печі до трайбапарату. Він призначений для транспортування до трайбапарату нагрітій заготовок від нагрівної печі. Транспортування відбувається зі швидкістю 2,22 м/с.

Подача і спрямування заготовок до першої кліті прокатного стану відбувається за допомогою трайбапарату через напрямні жолоба.

Чорнова група прокатних клітей має горизонтальні порокатні кліті. Тип таких валків – закритий.

Горизонтальна кліті у своєму складі має наступні вузли та механізми:

- прокатні кліті, які складаються з двох з'єднаних між собою станин;
- механізм для регулювання положення верхнього прокатного валка відносно нижнього, де встановлено показник піжйому валка;
- механізм регулювання положення нижнього прокатного валками, такий механізм має ручний привід;
- механізм встановлення прокатних валків в результаті переміщення в осьовому напрямку;
- врівноважуючі устаткування, що забезпечують пружинне врівноваження прокатних валків;

					КНУ.РБ.136.26.112с-11.01.ХАВСК	Аркуш
						1.16
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

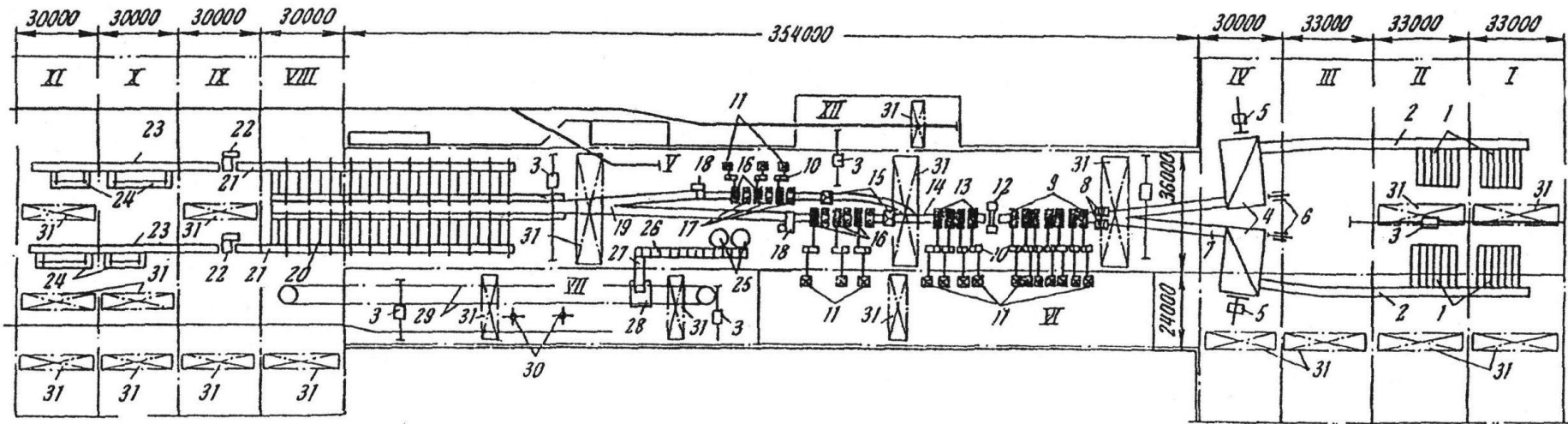


Рисунок 1.2 – Схема розташування обладнання стана 250-4:I-III – склади вихідних матеріалів; IV – проліт нагрних печей; V – проліт стана; VI – машинний зал; VII – ділянка крюкового конвеєра; VIII-XI – склади готової продукції; XII – скрапний проліт; 1 – ґрати для завантаження матеріалів; 2 – підводячий рольганг; 3 – передавальний візок; 4 – методична піч піч; 5 – штовхач; 6 – виштовхувач; 7 – підвідний рольганг до чорнової групи клітей; 8 – кривошипні ножиці; 9 – робочі кліті чорнової групи; 10 – редуктор; 11 – електродвигун; 12 – ножиці для обрізки передніх кінців і аварійного різання; 13 – проміжна група клітей; 14 – жолоб з холостими роликками; 15 – аварійні ножиці; 16 – чистові кліті із горизонтальними валками; 17 – чистові кліті із вертикальними валками; 18 – ножиці для різання розкатів; 19 – сполучний рольганг; 20 – рейковий холодильник; 21 – рольганг перед ножицями холодного різання; 22 – ножиці холодного різання; 23 – відвідний рольганг; 24 – кишень-ваги; 25 – моталка; 26 – транспортер бунтів; 27 – транспортер у конвеєра; 28 – пристрій для передачі бунтів на крюковий конвеєр; 29 – крюковий конвеєр; 30 – пристрій для знімання бунтів; 31 – мостовий електричний кран

- мастильний трубопровід, що застосовують для живлення підшипників, прикріплений до прокатної кліті за допомогою затискних пристроїв;
- система охолодження прокатних валків.

Для обрізання кінців отриманого розкату та аварійної порізки використовують ножиці для обрізки кінців. Їх установлюють після чорнової групи прокатних клітей. Кількість таких ножиць – 2 шт. Швидкість розрізання не перевищує 4,5 м/с. Температура розкату, який розрізається цими ножицями не менше за 1000°C. Максимальний поперечний переріз виобу, який розрізається цими ножицями дорівнює: 300 мм².

За чорнової нрупною прокатних клітей встановлено стійки з направляючим жолобом. Такі стійки призначено для спрямування розкату між прокатними клітями.

Обрізь після чорнової групи прокатних клітей завантажується в короба і транспортується в скрапний політ за допомогою передаточного візку. Вантажопідйомність такого візку складає 25 т, швидкість транспортування дорівнює 52,2 м/хв. Загальна довжина иранспортування жлрівнює 5,52 м.

Для аварійної порізки розкатів перед чистовими групами прокатних клітей встановлено аварійні ножиці. Кількість таких ножиць дорівнює 2 шт, максимальна температура матеріалу, який розрізається складає 900°C. Максимальна довжина аварійної порізки дорівнює 1800 мм.

Для транспотрування розкатів використовують транспортуючий рольганг. Замість рольганга можна використовувати передаточні жолоба.

Прокатні кліті чистової групи чергуються вертикальні з горизонтальними. Тип чистових прокатних клітей – закритий. Прокатна кліть складається з наступних елементів:

- основного вузла;
- змінної касети, яка иоже бути як вертикального, так і горзонтального виконання;

					КНУ.РБ.136.26.112с-11.01.ХАВСК	Аркуш
						1.18
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- пересувного механізму, що забезпечує встановлення змінної касети в кліть;
- механізму вертикального регулювання прокатних валків.

Для порізки готового прокату на великій швидкості на довжини, що відповідають довжині холодильника, використовують двоборабанні ножиці. Кількість таких ножиць дорівнює 2 шт. Ножиці складаються з приводу, маховіка та мамих ножиць. Швидкість переміщення розкату при його розрізанні дорівнює від 4,5 до 20 м/с. Максимальне зусилля розрізання може досягати 15000 т. Швидкість різки дорівнює: від 4,5 до 22 м/с.

Для термозміцнення матеріалу в потоці прокатного стану використовується термоустановка. Для транспортування прокату до холодильника використовують підводячий і приймальний рольганг. Кількість такого устаткування – дві штуки. Транспортування відбувається зі швидкістю 6,5-24 м/с.

Для направлення передніх кінців смуг на підводячий рольганг холодильнику використовують відбійник.

Для охолодження готового прокату використовують холодильник. Тип холодильника – рейковий. Холодильник має довжину 137 м. він правого та лівого виконання.

За 800 т ножицями встановлено відповідний та прибиральний рольганг. Цей рольганг призначено для транспортування готового профілю до ножиць холодного розрізання та збирання поізаного прокату в кишеню. Швидкість транспортування на рольгангу дорівнює: 3 м/с.

Для порізки розкатів на мірні довжини від 6 м до 24 м використовують ножиці холодного розрізання. Кількість таких ножиць 2 штуки на кожному прокатному стані. Максимальне зусилля різання дорівнює 800 т.

За ножицями розташовано пересувний упор лівого та правого виконання. Кількість упорів – два штуки. Установлюють упор на довжина розкатів на 6-12 м. швидкість переміщення дорівнює: 0,21 м/с.

					КНУ.РБ.136.26.112с-11.01.ХАВСК	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		1.19

Для затримування пакетів розкатів перед відвантажувальними кишнями встановлено поворотний упор. Кількість таких упорів дорівнює 4 штукам. Упор діє з максимальною енергією удару 2720 кг/м.

Для завантаження готової продукції встановлено ваги з кишнями.

Таке обладнання забезпечує отримання прокатних виробів заданої якості, потрібної форми та розмірів.

					КНУ.РБ.136.26.112с-11.01.ХАВСК	Аркуш
						1.20
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2 РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ СТАЛЕВОГО КВАДРАТУ ПОПЕРЕЧНОГО ПЕРЕРІЗУ 12×12 мм

2.1 Послідовність технологічних операцій з виготовлення сталевих квадратів стороною 12 мм

Технологічний процес виготовлення квадратного профілю складається з наступних основних та допоміжних операцій:

- підготування початкового матеріалу, в якості якого пропонується використовувати безперервно-литу заготовки з вуглецевої сталі, вона має квадратну форму з розмірами 80×80 мм і довжину 12 м, маса 600 кг; отримання заготовки здійснюється на машині безперервної розливки сталі радіального типу;
- безперервно-литі заготовки із завантажувальної решітки рольгангом, який відводить заготовки, подається до нагрівальної печі і штовхаючим пристроєм зштовхується у піч;
- нагрівання підготовленої безперервно-ливою заготовки до температури 1200°C здійснюється у індукційній печі, у печі заготовка рухається за допомогою штовхача;
- виштовхувач видає нагріту заготовку на рольганг;
- нагріту заготовку транспортують до чорної кліті прокатного стану;
- виконують обрізання розкату кривошипно-важильними ножицями (також ці ножиці можна використовувати, як аварійні);
- прокатування у чорних клітках прокатного стану за розрахованими режимами обтиснення;
- прокатування у напівчистових клітках прокатного стану за розрахованими режимами обтиснення;

					КНУ.РБ.136.26.112с-11.02.РТПВСК			
Вим.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата				
Розробив	Скоркін				РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ СТАЛЕВОГО КВАДРАТУ	Літ.	Аркуш	Аркушів
Перевірив	Чубенко						2.1	23
Рецензент						Каф. МЧМЛВ гр. МТ-23-1ск		
Н. контр.	Чубенко							
Затвердив	Бабошко							

- прокатування у чистових клітках прокатного стану за розрахованими режимами обтиснення;
- розрізання розкату на мірні довжини летючими ножицями на 6 м;
- охолодження розкату на холодильнику;
- правка прокату, притирка виробу;
- термічна обробка квадратного профілю (нормалізація);
- контроль якості отриманого квадратного виробу, де здійснюється контроль поперечних розмірів та їх відхилень за допомогою шаблонів; контроль вірності кутів профілю; визначення механічних властивостей, хімічний контроль матеріалу в заводській лабораторії;
- маркування готового прокату;
- пакування квадратного профілю у штаби.

Така послідовність технологічних операцій дозволить отримати якісний квадратний профіль, що має поперечні розміри 12×12 мм.

2.2 Калібрування квадратної сталі 12×12 мм

Для збільшення продуктивності прокатного стану ДС 250 та покращення техніко-економічних показників при виготовленні дрібносортового прокату рекомендується використовувати на стані ДС 250 дворівчакову прокатку розділення. При виготовленні квадрату 12×12 мм будемо використовувати поздовжнє розділення розкату безпосередньо у розділовому калібрі, де центрування такого калібру буде забезпечено гребнями цього калібру.

Переваги технології прокатки-розділення у наступному:

- існує можливість збільшення маси початкового матеріалу, що впливає на збільшення продуктивності процесу прокатування;
- існує можливість збільшення продуктивності прокатного стану на 20 – 30 %;
- забезпечити високу стійкість калібру при отриманні квадратного профілю розмірами 10×10 мм.

					КНУ.РБ.136.26.112с-11.02.РТПВСК	Аркуш
						2.2
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- для забезпечення такої технології, потрібно виконати спеціальне калібрування прокатних валків, які дозволять виконати поздовжнє розділення розкату в потоці прокатного стану.

Технологічний процес прокатки-розділення засновується на отриманні з початкового матеріалу перед розділенням в спеціальних каліброваних валках розкату, який складається з двох та більше профілів, які сполучені між собою тонкими перемичками та їх подальшого поздовжнього розділення в потоці прокатного стану.

При цьому збільшується продуктивність прокатного стану при незмінній швидкості прокатування та кількості прокатних клітей. Використання такого процесу забезпечує зменшення втрат тепла та зменшення сумарної витяжки матеріалу. Це явище дозволяє зменшити енергетичні витрати на процес. Зменшується чад та кількість окалини, що підвищує вихід придатного матеріалу на 2÷4%.

При розрахунку калібрування прокатних валків для отримання смуги квадратного поперечного перерізу розмірами 12×12 мм прокаткою-розділенням, потрібно в чистовій групі прокатних клітей передбачити формування з вадратною смуги двониткового розкату, який складається з двох суміщених калібрів, які сполучені тонкою перемичкою, які, в подальшому будуть розділенні в наступній кліті на два окремих калібрах.

Розрахунок калібрування ведемо з врахуванням граничного відхилення квадратного профілю та теплового розширення.

Граничні відхилення для квадрату 12×12 мм при звичайній точності дорівнюють $10_{-0,3}^{+0,2}$.

Бік квадрату з урахуванням мінусового дорівнює:

$$C = 12 - \frac{0,3}{2} = 11,85 \text{ мм.}$$

В гарячому стані під впливом теплового розширення бік квадрату має розмір: $C_k = 1,013 \cdot 11,85 = 12,0 \text{ мм.}$

					КНУ.РБ.136.26.112с-11.02.РТПВСК	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		2.3

Тобто розмір квадрату 12×12 під впливом мінусового допуску та температури не змінився.

Визначимо площу чистового квадрату:

$$F_{17} = C_k^2, \quad (2.1)$$

де C_k – сторона квадрату в кінцевому калібрі, $C_k = 12$ мм.

Тоді, площа чистового калібру дорівнює:

$$F_{17} = 12^2 = 144 \text{ мм}^2.$$

Ширину та висоту кінцевого калібру визначають за формулою:

$$b_{17} = h_{17} = \sqrt{2} \cdot C_{17}. \quad (2.2)$$

Після підстановки отримаємо:

$$b_{17} = h_{17} = \sqrt{2} \cdot 12 = 16,92 \text{ мм.}$$

Приймаємо $b_{17} = h_{17} = 17$ мм.

При вершині діагонального квадратного профілю маємо радіус закруглення: $R = 0,1 \cdot C_k = 0,1 \cdot 12 = 1,2$ мм.

Приймаємо 1 мм.

При буртах калібру радіус закруглення також буде 1 мм.

На чистових проходах будемо використовувати систему калібрування: «квадрат – ромб- квадрат».

Визначаємо коефіцієнт витяжки в останньому сімнадцятому проході за графіком: $\mu_{17} = 1,15$.

Витяжка в передчистовому ромбі дорівнює: $\mu_{16} = 1,21$.

Номинальний діаметр прокатних валків в останній кліті дорівнює:

$$D = 280 \text{ мм.}$$

Швидкість обертання прокатних валків в останній прокатній кліті дорівнює: $n = 772$ об/хв.

Швидкість прокатування в чистовій прокатній кліті дорівнює:

$$v = 15,0 \text{ м/с.}$$

					КНУ.РБ.136.26.112с-11.02.РТПВСК	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		2.4

Для визначення розширення скористуємося залежностями:

$$C = 16; D = 350; \mu = 1,15; \Delta b_{17} = 2,5 \text{ мм};$$

$$C = 16; D = 250; \mu = 1,15; \Delta b_{17} = 1,7 \text{ мм}.$$

Для діаметру прокатних валків, який дорівнює 280 мм, розширення буде дорівнювати:

$$\Delta b_{17} = 2,1 \text{ мм}.$$

При прокатуванні в шістнадцятому передчистовому калібрі, що має ромбічну форму площа поперечного перерізу з врахуванням коефіцієнту витяжки визначається за формулою:

$$F_{16} = \mu_{17} \cdot F_{17}. \quad (2.3)$$

Шістнадцятий калібр розташовано вертикально.

Після підстановки потрібних значень, отримаємо:

$$F_{16} = 1,15 \cdot 144 = 165,6 \text{ мм}^2.$$

Розширення в калібрі передчистої ромбічної кліті визначаємо за графіком:

$$\Delta b_{17} = 4,5 \text{ мм}.$$

Товщину передчистового ромбу визначаємо за формулою:

$$h_{16} = b_{17} - \Delta b_{17}. \quad (2.4)$$

Після підставлення, отримаємо значення:

$$h_{16} = 21,37 - 1,5 = 15,5 \text{ мм}.$$

Ширина передчистового ромбічного калібру визначається за формулою:

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

Після підстановки відповідних значень, отримаємо:

$$b_{16} = \frac{2 \cdot 165,6}{15,5} = 21,37 \text{ мм}.$$

При прокатуванні здійснюється абсолютне обтиснення, яке визначається за формулою:

$$\Delta h_{i+1} = h_{i+1} - h_i. \quad (2.6)$$

					КНУ.РБ.136.26.112с-11.02.РТПВСК	Аркуш
						2.5
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

З врахуванням вертикального розташування кліті, отримаємо:

$$\Delta h_{17} = b_{16} - h_{16}. \quad (2.7)$$

Підставив відповідні значення, отримаємо абсолютне обтиснення в сімнадцятій прокатній кліті:

$$\Delta h_{17} = 21,37 - 16,9 = 4,47 \text{ мм.}$$

Відносне обтиснення розраховується за формулою:

$$\varepsilon = \frac{\Delta h}{h_{17}} 100\%. \quad (2.8)$$

Після підстановки, отримаємо відносне обтиснення в сімнадцятій прокатній кліті:

$$\varepsilon_{17} = \frac{4,47}{21,37} 100\% = 21\%.$$

Частота обертання прокатних валків в передчистовій прокатній кліті дорівнює: $n = 689,3$ об/хв.

Швидкість прокатування в передчистовій прокатній кліті визначається за формулою:

$$v_{16} = \frac{v_{17}}{\mu_{17}}. \quad (2.9)$$

Після підстановки відповідних значень, отримаємо:

$$v = 13,04 \text{ м/с.}$$

Кут захоплення смуги прокатними валками буде дорівнювати: $\alpha = 13,5^\circ$.

Зазор між прокатними валками приймаємо рівним: $s = 2$ мм.

При розрахунку 15-ї кліті враховуємо те, що у цій кліті відбувається розділення прокату на дві частини. Калібр має форму зведеного квадрату. Розташований горизонтально.

Площа поперечного перерізу квадрату дорівнює:

$$F_{15} = \mu_{16} \cdot F_{16} = 1,21 \cdot 165,6 = 200,38 \text{ мм}^2.$$

Бік квадрату визначається за формулою:

$$c_{15} = \sqrt[2]{F_{15}}. \quad (2.10)$$

					КНУ.РБ.136.26.112с-11.02.РТПВСК	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		2.6

Отримаємо: $c_{15} = \sqrt[2]{200,38} = 14,1$ мм.

Висота та ширина квадрату в п'ятнадцятому калібрі дорівнюють:

$$b_{15} = h_{15} = 1,41 \cdot 14,1 = 19,9 \text{ мм.}$$

Ширина калібру з врахуванням перемички, яка дорівнює 2 мм, дорівнює:

$$b_{15 \times 2} = 19,9 + 19,9 + 2 = 41,8 \text{ мм.}$$

Швидкість прокатування у 15 прокатній кліті дорівнює:

$$v_{15} = 10,8 \text{ м/с.}$$

Частота обертання прокатних валків у кліті дорівнює: 592 об/хв/

Температура металу в п'ятнадцятій прокатній кліті дорівнює: $t = 1030^\circ$.

Кут захоплення металу прокатними валками в п'ятнадцятій прокатній кліті дорівнює: $\alpha = 13,5^\circ$.

В п'ятнадцятій прокатній кліті відбувається прокатування зведеного квадрату. Площа поперечного перерізу зведеного квадрату дорівнює:

$$F_{15} = 2 \cdot 200,38 = 400,7 \text{ мм}^2.$$

Коефіцієнт витяжки визначаємо графічним способом, з якого отримали, що коефіцієнт витяжки для смуги розміром 14 мм, при діаметрі прокатних валків 280 мм, куту захоплення $\alpha = 13,5^\circ$, буде дорівнювати $\mu = 1,17$.

За графіками визначаємо розширення смуги в п'ятнадцятій прокатній кліті. Для прокатних валків, які мають діаметр 280 мм, при витяжці $\mu = 1,17$, розширення буде дорівнювати: $\Delta b = 3,6$ мм.

Абсолютне обтиснення в шістнадцятій прокатній кліті дорівнює:

$$\Delta h_{16} = 19,9 - 15,5 = 4,4 \text{ мм.}$$

Відносне обтиснення при прокатування в шістнадцятій прокатній кліті дорівнює:

$$\varepsilon_{16} = \frac{4,4}{19,9} 100\% = 22\%.$$

Абсолютне обтиснення в п'ятнадцятій прокатній кліті дорівнює:

$$\Delta h_{15} = 22,4 - 19,9 = 2,5 \text{ мм.}$$

					КНУ.РБ.136.26.112с-11.02.РТПВСК	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		2.7

Відносне обтиснення при прокатування в п'ятнадцятій прокатній кліті дорівнює:

$$\varepsilon_{15} = \frac{2,5}{22,4} 100\% = 11,1\%.$$

Чотирнадцята прокатна кліть також уявляє собою здвоєний підготовчій квадрат, який має два з'єднаних між собою калібру площа яких дорівнює між собою.

Площа кожного з цих калібрів дорівнює:

$$F_{14} = 1,17 \cdot 200,38 = 234,4 \text{ мм.}$$

Сторона кожного квадрату в чотирнадцятому калібрі:

$$C_{\text{кв}14} = \sqrt{\frac{234}{0,92}} = 15,9 \text{ мм.}$$

Висота та ширина калібру в чотирнадцятій прокатній кліті має бути рівною:

$$b_{14} = h_{14} = 1,41 \cdot 15,9 = 22,4 \text{ мм.}$$

Абсолютне обтиснення в чотирнадцятій прокатній кліті дорівнює:

$$\Delta h_{14} = 40 - 22,4 = 17,6 \text{ мм.}$$

Відносне обтиснення при прокатування в шістнадцятій прокатній кліті дорівнює:

$$\varepsilon = \frac{17,6}{40} 100\% = 44\%.$$

Відстань між осями двох поруч розташованих рівчаків в чотирнадцятому калібрі визначається за формулою:

$$l_{14} = 1,41 \cdot C_{\text{кв}14} + b_{\text{гр}14}, \quad (2.11)$$

де $b_{\text{гр}}$ – ширина розділового гребню, приймаємо для калібру даних розмірів: $b_{\text{гр}14} = 3,4 \text{ мм/}$

Підставив відповідні значення, отримаємо:

$$l_{14} = 1,41 \cdot 15,9 + 3,5 = 25,9 \text{ мм/}$$

					КНУ.РБ.136.26.112с-11.02.РТПВСК	Аркуш
						2.8
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Глибина врізання в калібри по гребню дорівнює:

$$t_{вр} = 0,3 \cdot 22,4 = 6,7 \text{ мм. Приймаємо } t_{вр} = 7 \text{ мм.}$$

Висота гребня розділового калібру дорівнює:

$$h_{гр14} = 22,4 - 2 \cdot 7 = 8,4 \text{ мм.}$$

Обтиснення за гребнем визначається за формулою:

$$\Delta h_{гр1} = h_{гр14} - S_{14}, \quad (2.12)$$

де S_{14} – зазор між прокатними валками в чотирнадцятій прокатній кліті при розділенні смуги, $S_{14} = 3 \text{ мм}$.

Після підстановки, обтиснення за гребнем буде дорівнювати:

$$\Delta h_{гр1} = h_{гр14} - S_{15} = 8 - 3 = 5 \text{ мм.}$$

Кут захоплення металу валками в чотирнадцятій прокатній кліті дорівнює:

$$\alpha_{14} = \arccos \left(1 - \frac{6,67}{370} \right) = 11^\circ.$$

Оберти прокатних валків в чотирнадцятій прокатній кліті дорівнюють:

$$n_{14} = 543 \text{ об/хв.}$$

Швидкість прокатки :

$$v_{14} = 9,23 \text{ м/с.}$$

В тринадцятій прокатній кліті, яку розташовано горизонтально, використовується квадратний, діагонально врізаний калібр, площа поперечного перерізу калібру з врахуванням коефіцієнту витяжки, буде дорівнювати:

$$F_{13} = 2 \cdot 234 \cdot 1,58 = 739,44 \text{ мм}^2.$$

Сторона квадрату, що міститься в тринадцятому калібрі дорівнює:

$$C_{кв13} = \sqrt{\frac{F_{13}}{0,92}} = \sqrt{\frac{739,44}{0,92}} = 28,3 \text{ мм.}$$

Абсолютне обтиснення в тринадцятій прокатній кліті дорівнює:

$$\Delta h_{13} = 41,3 - 40,0 = 1,3 \text{ мм.}$$

Відносне обтиснення при прокатування в тринадцятій прокатній кліті дорівнює: $\varepsilon_{13} = \frac{1,3}{41,3} 100\% = 3,2\%$.

					КНУ.РБ.136.26.112с-11.02.РТПВСК	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		2.9

Висота та ширина розкату в тринадцятому калібрі дорівнює:

$$h_{13} = b_{13} = 1,41 \cdot 28,3 = 40 \text{ мм.}$$

Обтиснення по гребню тринадцятого калібру дорівнює:

$$\Delta h_{\text{гр}14} = 40 - 17,6 = 22,4 \text{ мм.}$$

Оберти прокатних валків в тринадцятому калібрі дорівнюють:

$$n_{13} = \frac{K}{F \cdot D_k} = \frac{88,23 \cdot 10^6}{400 \cdot 369} = 427 \text{ об/хв.}$$

Швидкість прокатки в тринадцятій прокатній кліті:

$$v_{13} = \frac{3,14 \cdot 0,369 \cdot 427}{60} = 8,24 \text{ м/с.}$$

Десята, одинадцята та дванадцята прокатні кліті не використовуються

Дев'ята прокатна кліть має калібри овальної форми. Розташовано вертикально.

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

$$F_9 = \mu_{13} \cdot F_{13} = 1,4 \cdot 739 = 1032 \text{ мм}^2.$$

Ширина розкату в дев'ятому овальному калібрі визначається за формулою:

$$b_9 = \sqrt{1,06 \cdot F_9}. \quad (2.13)$$

І буде дорівнювати:

$$h_9 = \sqrt{1,06 \cdot 1032} = 33,0 \text{ мм.}$$

Висота розкату в овальному калібрі буде дорівнювати:

$$b_9 = 33,0 \cdot 1,25 = 41,3 \text{ мм.}$$

Абсолютне обтиснення в дев'ятій прокатній кліті дорівнює:

$$\Delta h_9 = 52 - 33,0 = 19 \text{ мм.}$$

Відносне обтиснення при прокатування в дев'ятій прокатній кліті дорівнює: $\varepsilon = \frac{19}{52} 100\% = 36\%$.

Швидкість прокатування в дев'ятій прокатній кліті дорівнює: $v = 7,8 \text{ м/с}$;

Частота обертання прокатних валків: $n = 398 \text{ об/хв}$.

Температура смуги, що знаходиться в калібрі дорівнює: $t = 1010^\circ\text{C}$;

Кут захоплення металу прокатними валками дорівнює: $\alpha = 12,6^\circ$.

					КНУ.РБ.136.26.112с-11.02.РТПВСК	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		2.10

Для прокатної кліті, яка має номінальний діаметр прокатних валків $D_0 = 380$ мм, коефіцієнт витяжки буде дорівнювати $\mu = 1,28$. При цьому під час прокатування відбудеться розширення, яке дорівнює $\Delta b = 3,4$ мм.

Переходимо до розрахунку чорнової групи прокатних клітей.

Сьома прокатна кліть має калібри у формі ребрового овалу.

Приймаємо зазор між прокатними валками дорівнює: $S_7 = 11$ мм.

Коефіцієнт витяжки в сьомій прокатній кліті дорівнює: $\mu_7 = 1,36$.

Площа поперечного перерізу калібру з врахуванням коефіцієнта витяжки дорівнює: $F_7 = 1650$ мм.

Відношення висоти до ширини ребрового овалу дорівнює:

$$\frac{h}{b} = 1,30.$$

Використовуючи таблиці овалів, отримаємо відношення площі поперечного перерізу овалу до квадрату його ширини:

$$\frac{F}{b^2} = 0,96.$$

Відношення радіусу закруглення до висоти калібру дорівнює: $\frac{r}{h} = 0,6725$.

Тоді, ширина розкату в ребровому овалі сьомої прокатної кліті дорівнює:

$$b_7 = \sqrt{\frac{F}{0,962}} = \sqrt{\frac{1650}{0,962}} = 40 \text{ мм.}$$

Ширина розкату в ребровому овалі сьомої прокатної кліті дорівнює:

$$h_7 = 40 \cdot 1,25 = 52 \text{ мм.}$$

Радіус ребрового овалу в сьомій прокатній кліті дорівнює: $r = 26,9$ мм.

Катаючий діаметр в сьомій прокатній кліті дорівнює:

$$D_{к7} = D_6 + S_7 - \frac{F_7}{b_7} = 400 + 11 - \frac{1650}{40} = 370 \text{ мм.}$$

Частота обертання прокатних валків у сьомої кліті:

$$n_7 = \frac{K}{F_7 \cdot D_{к7}} = 290 \text{ об/хв.}$$

Швидкість прокатки в калібрі сьомої прокатної кліті дорівнює:

$$v_7 = \frac{\pi \cdot D_{к7} \cdot n_7}{60} = \frac{3,14 \cdot 0,37 \cdot 145}{60} = 5,6 \text{ м/с.}$$

					КНУ.РБ.136.26.112с-11.02.РТПВСК	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		2.11

Глибина врізання в калібр прокатного валка сьомої прокатної кліті:

$$t_7 = \frac{b_7 - S_7}{2} = \frac{40 - 11}{2} = 14,5 \text{ мм.}$$

Далі розкат спрямовується до четвертої прокатної кліті, яка має шестигранний калібр.

Площа поперечного перерізу калібру дорівнює: $F_4 = 2240 \text{ мм}^2$.

Коефіцієнт витяжки в четвертій прокатній кліті дорівнює: $\mu_4 = 1,18$.

Зазор між прокатними валками встановлюємо: $S_4 = 13,5 \text{ мм}$.

При прокатуванні в четвертій прокатній кліті відбувається розширення, яке дорівнює: $\Delta b_4 = 5 \text{ мм}$.

Висота калібру буде дорівнювати:

$$h_4 = 40 - 5 = 35 \text{ мм.}$$

Ширина калібру в четвертій прокатній кліті дорівнює: $b_4 = 70 \text{ мм}$.

Відбулося обтиснення при прокатуванні в четвертій прокатній кліті:

$$\Delta_{h5} = b_4 - h_7 = 70 - 52 = 18 \text{ мм.}$$

Ширину калібру по буртам четвертої прокатної кліті дорівнює:

$$B_k = 80 \text{ мм.}$$

Катаючий діаметр прокатних валків в четвертій прокатній кліті:

$$D_{k4} = 400 + 13,5 - \frac{2240}{70} = 381 \text{ мм.}$$

Частота обертання прокатних валків в четвертій прокатній кліті дорівнюють: $n_4 = 195 \text{ об/хв}$.

Лінійна швидкість прокатування дорівнює: $v_4 = 3,0 \text{ м/с}$.

Глибина врізання в прокатні валки дорівнює: $t_4 = \frac{35 - 13,5}{2} = 10,75 \text{ мм}$.

Кут захоплення металу прокатними валками дорівнює: $\alpha_6 = 18^\circ$.

В третій прокатній кліті, яка розташована горизонтально, міститься квадратний калібр, який діагонально врізаний.

Зазор між прокатними валками дорівнює: $S_3 = 12 \text{ мм}$.

Витяжка в калібрі складає: $\mu_4 = 1,183$.

Площа поперечного перерізу розкату дорівнює: $F_3 = 2650 \text{ мм}^2$.

					КНУ.РБ.136.26.112с-11.02.РТПВСК	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		2.12

Бік квадрату в третьому калібрі дорівнює: $c = 54,8$ мм.

Висота та ширина калібру дорівнює:

$$h_3 = b_3 = 1,47 \cdot 54,8 - 0,825 \cdot 15 = 62 \text{ мм.}$$

З урахуванням випуску калібру приймаємо ширину 60 мм.

В калібрі відбувається обтиснення, яке дорівнює:

$$\Delta h_3 = a_3 - h_4 = 54,8 - 35 = 19,8 \text{ мм.}$$

При цьому здійснюється розширення, яке дорівнює:

$$\Delta b_3 = 69 - 54,8 = 14,2 \text{ мм.}$$

Витяжка при прокатуванні в третьому калібрі дорівнює: $\mu_3 = 1,35$.

Катаючий діаметр прокатних валків дорівнює:

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

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

$$\Delta h_3 = 62 - 35 = 27 \text{ мм.}$$

Відносне обтиснення при прокатуванні в третій кліті дорівнює:

$$\varepsilon = \frac{27}{62} 100\% = 43,5\%.$$

Частота обертання прокатних валків в третій кліті: $n_3 = 170$ об/хв.

Лінійна швидкість прокатування в третій кліті: $v_3 = 2,6$ м/с.

Глибина врізання калібру в прокатні валки: $t_3 = \frac{h_3 - S_3}{2} = \frac{62 - 12}{2} = 25$ мм.

Другий калібр має ящикову форму, розташований горизонтально.

Приймаємо зазор між прокатними валками дорівнює: $S_2 = 10$ мм.

Площа поперечного перерізу розкату в калібрі другої прокатної кліті:

$$F_3 = 3395 \text{ мм}^2.$$

Величину розширення при прокатуванні в ящиковому калібрі визначимо за формулою:

$$\Delta b_3 = \frac{2 \cdot \Delta h \cdot b_{\text{ср}} \cdot K_{\text{орг}}}{(H+h) \cdot \left[1 + \alpha \cdot \left(\frac{b_{\text{ср}}}{R \cdot \alpha} \right)^{n_1} \right]}, \quad (2.14)$$

де α – кут захоплення металу, рад.;

					КНУ.РБ.136.26.112с-11.02.РТПВСК	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		2.13

n – показник ступеню, який дорівнює: $n = 2$, якщо $b_{cp} > R \cdot \alpha$;

$K_{орг}$ – коефіцієнт обмеження розширення, приймаємо $K_{орг} = 0,8 \div 0,95$.

Після підстановки, отримали, що величина розширення в другій прокатній кліті дорівнює: $\Delta b_3 = 18$ мм.

Висота розкату в другій прокатній кліті дорівнює:

$$h_2 = 60 - 14 = 46 \text{ мм.}$$

Відносне обтиснення буде рівним:

$$\varepsilon = \frac{14}{64} 100\% = 21,9\%.$$

Ширина розкату буде дорівнювати:

$$b_2 = 62 + 18 = \text{мм.}$$

Катаючий діаметр прокатних валків в другій кліті дорівнює:

$$D_{к2} = D_6 + S_2 - \frac{F_2}{b_2} = 400 + 12 - \frac{3595}{80} = 364 \text{ мм.}$$

Оберти прокатних валків у другій прокатній кліті дорівнюють:

$$n_2 = \frac{K}{F_2 \cdot D_{к2}} = 90 \text{ об/хв.}$$

Кут захвату металу прокатними валками в другій прокатній кліті:

$$\alpha_2 = \arccos \left(1 - \frac{\Delta h_2}{D_{к2}} \right) = \arccos \left(1 - \frac{33}{364} \right) = 17^\circ 9'.$$

Глибина врізання в калібр в другій прокатній кліті:

$$t_2 = \frac{h_2 - S_2}{2} = \frac{46 - 10}{2} = 18 \text{ мм.}$$

Швидкість прокатування в другій прокатній кліті: $v = 2,1$ м/с.

Перший калібр має ящикову форму, розташований горизонтально.

Зазор між прокатними валками дорівнює: $S_1 = 10$ мм.

Розподіляємо витяжки при проходженні в першій та другій прокатній кліті:

$$\mu_2 = 1,374; \mu_1 = 1,296.$$

Площа поперечного перерізу розкату в першому калібрі дорівнює:

$$F_1 = \mu_2 \cdot F_2 = 1,374 \cdot 3595 = 4940 \text{ мм}^2.$$

Площа поперечного перерізу початкового матеріалу дорівнює:

$$F_0 = \mu_1 \cdot F_1 = 1,296 \cdot 4940 = 6400 \text{ мм}^2.$$

					КНУ.РБ.136.26.112с-11.02.РТПВСК	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		2.14

Сторона квадратної заготовки дорівнює: $a_0 = \sqrt{F_0} = \sqrt{6400} = 80$ мм.

Визначаємо обтиснення, що відбулося при прокатуванні в першій прокатній кліті.

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

$$\Delta h_1 = 80,0 - 63,0 = 16,0 \text{ мм.}$$

Відносне обтиснення при прокатуванні в першій кліті дорівнює:

$$\varepsilon = \frac{16}{80} 100\% = 20,0\%.$$

Швидкість деформації в першій прокатній кліті дорівнює: $u = 1,2 \text{ с}^{-1}$.

Висота першого калібру з врахуванням величини обтиснення дорівнює:

$$h_1 = a_0 - \Delta h_1 = 80 - 16 = 64 \text{ мм.}$$

Ширина розкату в першому калібрі дорівнює:

$$b_1 = \frac{F_1}{h_1} = \frac{4940}{64} = 86 \text{ мм.}$$

При прокатуванні в першій прокатній кліті відбулося розширення:

$$\Delta b_1 = b_1 - a_0 = 86 - 80 = 6 \text{ мм.}$$

Катаючий діаметр прокатних валків першої кліті дорівнює:

$$D_{к1} = D_6 + S_1 - \frac{F_1}{b_1} = 400 + 28 - \frac{4940}{86} = 364 \text{ мм.}$$

Оберти валків прокатних валків в першій кліті:

$$n_1 = \frac{K}{F_1 \cdot D_{к1}} = 60 \text{ об/хв.}$$

Швидкість прокатки в першій кліті:

$$v_1 = \frac{\pi \cdot D_{к1} \cdot n_1}{60} = 1,8 \text{ м/с.}$$

Глибина врізання в прокатні валки першої кліті:

$$t_1 = \frac{h_1 - S_1}{2} = \frac{64 - 28}{2} = 18 \text{ мм.}$$

При прокатуванні в другій прокатній кліті абсолютне обтиснення дорівнює:

Основні показники калібрування прокатних валків заносимо в табл. 2.1.

					КНУ.РБ.136.26.112с-11.02.РТПВСК	Аркуш
						2.15
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.1 Калібрування прокатних валків для отримання квадратної смуги 12×12 мм

№ кліті	Форма калібру	F , мм ²	μ	S , мм	b , мм	h , мм	C , мм	D_b , мм	v , м/с	n , об/хв
Заготовка	-	6400	-	-	80	80	80	-	-	-
1	Ящиковий	4940,0	1,30	10,0	86,0	64,0		400	1,8	60,0
2	Ящиковий	3395,0	1,37	12,0	80,0	46,0		400	2,1	90,0
3	Квадрат	2650,0	1,35	12,0	62,0	62,0	54,8	400	2,6	120,0
4	Шестигранний	2240,0	1,18	13,5	70,0	35,0		400	3,0	195,0
7	Рибровий овал	1650,0	1,36	11,0	40,0	52,0		400	5,6	290,0
9	Рибровий овал	1039,5	1,29	8,7	33,0	41,3		380	7,8	398,0
13	Квадратний	739,4	1,18	7,0	40,0	40,0	28,3	380	8,24	428,0
14	Здвоєний квадрат	2x234,4	1,58	3,5	22,4	22,4	15,9	380	9,23	543,0
15	Здвоєний квадрат	2x200,4	1,17	2,0	19,9	19,9	14,1	280	10,8	592,0
16	Предчистовий ромб	165,0	1,21	2,0	21,37	15,5		280	13,04	689,0
17	Квадрат	144,0	1,1	1,1	16,9	16,9	12	280	15,0	772,0

Вим.

Арк.

№ док.м.

Підпис

Дата

КНУРБ.136.26.112с-11.02.РТПВСК

2.16

Архив

Таким чином, ми отримали калібрування прокатних валків, яке забезпечить виготовлення прокату квадратного поперечного перерізу з розмірами 12×12 мм. З таблиці видно розміри усіх калібрів, яка поступово зменшують від проходу до проходу, коефіцієнт витяжки змінюється в залежності від обробляемого профілю.

Діаметри прокатних валків зменшуються, швидкість прокатування збільшується.

Така система калібрувань дозволить отримати виріб точних розмірів за мінімальну кількість проходів.

Схема калібрування квадратного профілю розміром 12×12 мм представлена на рисунку 2.1.

Зі схеми видно форма та розташування чорнових та чистових калібрів. Видно, що чорнові калібри мають ящикову форму, розташовані горизонтально. Для чистових калібрів використовуються система «ромб-квадрат». Чергування вертикальних та горизонтальних калібрів дозволяє здійснити прокатування без кантування та забезпечити всебічне обтиснення профілю, що дозволяє отримати точні розміри квадрату.

2.3 Термічна обробка квадратного профілю 12×12 мм

Термічна обробка матеріалів пролягає в їх нагріванні до певних температур, витримки деякий час, та повільного або швидкого охолодження в залежності від виду термічної обробки. В результаті термічної обробки матеріали змінюють свою структуру, що в свою чергу, дозволяє змінити властивості металовиробів.

В залежності від призначення виробу та марки матеріалу існує декілька видів термічної обробки. Після прокатування низьковуглецевого сталі Ст 3 використовується термічна обробка– нормалізація.

Вона виконується для зняття остаточних напружень, які утворилися після прокатування та покращення оброблюваності. При нормалізації здійснюється перекристалізація сталі, де крупнозерниста структура набуває дрібних зерен.

					КНУ.РБ.136.26.112с-11.02.РТПВСК	Аркуш
						2.17
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

При нормалізації використовують нагрівання до температури 850-900°C з наступним охолодженням на повітрі, що забезпечує підвищення міцності та в'язкості.

Після термічної обробки структура сталі Ст 3 стає дрібнозернистою і складається з фериту та перліту.

Твердість сталі при нормалізації не змінюється. Пластичність підвищується, сталь стає більш в'язкою.

2.4 Розрахунок енергосилових параметрів прокатки для отримання квадратної сталі 12×12 мм

Детальний розрахунок покажемо на прикладі першої чорнової прокатної кліті, яка має прямокутний ящиківий калібр.

В першому калібру початкові безперервно лита заготовка, що має розміри 80x80 мм деформується і отримує розміри на виході з кліті, які дорівнюють: 64x86 мм.

Початкова висота калібру дорівнює: $h_0 = 80$ мм.

Початкова ширина калібру: $b_0 = 80$ мм.

Кінцева висота калібру дорівнює: $h_1 = 64$ мм.

Кінцева ширина калібру дорівнює: $b_1 = 86$ мм.

Випуск калібру $\varphi = 17\%$.

Радіус прокатних валків по дну калібру дорівнює: $R = 182$ мм.

Температура прокатування в першій прокатній кліті складає: $t = 1180^\circ\text{C}$.

Швидкість прокатування дорівнює: $v = 1,8$ м/с.

Базисна границя течії для сталі Ст 3 дорівнює: $\sigma_{T0} = 92$ МПа.

При прокатуванні здійснюється абсолютне обтиснення, яке визначається за формулою:

$$\Delta h = h_0 - h_1. \quad (2.15)$$

					КНУ.РБ.136.26.112с-11.02.РТПВСК	Аркуш
						2.19
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Після підстановки потрібних значень, отримаємо:

$$\Delta h = 80 - 64 = 16 \text{ мм.}$$

Відносне обтиснення розраховується за формулою:

$$\varepsilon = \frac{\Delta h}{h_0} 100\%. \quad (2.13)$$

Відставив відповідні значення, отримаємо:

$$\varepsilon = \frac{16}{80} 100\% = 20,0\%.$$

Швидкість деформації в першій прокатній кліті дорівнює: $u = 1,2 \text{ с}^{-1}$.

Термомеханічні коефіцієнт впливу температури визначають за формулою:

$$k_t = 0,57 + 0,0045 \cdot (1200 - T) \cdot \sqrt{\frac{1200 - T}{T}}. \quad (2.16)$$

Після підстановки відповідних значень, отримаємо термомеханічний коефіцієнт впливу температури при прокатуванні в першій кліті дорівнює:

$$k_t = 0,582.$$

Коефіцієнт впливу швидкості деформації визначається за формулою:

$$k_u = 0,8 + 0,065 \cdot \sqrt{u}. \quad (2.17)$$

Для першої прокатної кліті коефіцієнт впливу швидкості деформації дорівнює:

$$k_u = 0,871.$$

Коефіцієнт впливу ступеню деформації визначається за формулою:

$$k_\varepsilon = 0,82 + 0,082 \cdot \sqrt{\varepsilon}. \quad (2.18)$$

При прокатуванні в першій кліті, коефіцієнт впливу ступеню деформації дорівнює:

$$k_\varepsilon = 1,2$$

Середнє значення напруження течії металу визначається за формулою:

$$\sigma_{TC} = \sigma_0 \cdot k_t \cdot k_u \cdot k_\varepsilon. \quad (2.19)$$

					КНУ.РБ.136.26.112с-11.02.РТПВСК	Аркуш
						2.20
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

При прокатуванні в першій кліті, після підстановки відповідних значень, середнє напруження течії металу буде рівним:

$$\sigma_{TC} = 92 \cdot 0,582 \cdot 0,871 \cdot 1,2 = 55,9.$$

Коефіцієнт підпору залежить від відношення довжини осередку деформації до середньої ширини смуги:

$$\frac{l}{h_c} = \frac{2 \cdot \sqrt{R_d \cdot \Delta h}}{h_0 + h_1} = 0,72.$$

$$\frac{l}{h_c} = 0,72 < 1.$$

Через те, що таке відношення менше одиниці, коефіцієнт підпору визначаємо за формулою:

$$n_p = \left(1 - \frac{l}{h_c}\right) + \frac{0,55}{\sqrt{\frac{1}{h_c}}} + 0,5 \left(\frac{l}{h_c}\right)^3. \quad (2.20)$$

Підставив відповідні значення, отримаємо, що коефіцієнт підпору при прокатуванні в першій прокатній кліті дорівнює:

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

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

$$P_B = \sigma_{TC} \cdot n_p. \quad (2.21)$$

При прокатуванні в першій кліті, отримаємо:

$$P_B = 56 \cdot 1,115 = 59,7, \text{ МПа};$$

Середній контактний тиск, що діє на бічну поверхню калібру, визначається за формулою:

$$P_G = P_B \cdot [0,006 \cdot \varepsilon + 0,11(1 + Z)^2 + 0,228], \text{ МПа}, \quad (2.22)$$

де Z – коефіцієнт виливу, що розраховується за формулою:

$$Z = \frac{b_0 - b_k}{(0,02 \cdot h_p \cdot \varphi)}. \quad (2.23)$$

					КНУ.РБ.136.26.112с-11.02.РТПВСК	Аркуш
						2.21
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Коефіцієнт впливу тиску в першій прокатній кліті дорівнює:

$$Z = \frac{90-85}{(0,02 \cdot 18 \cdot 17)} = 0,817.$$

Середній контактний тиск в першій прокатній кліті дорівнює:

$$P_6 = 52,1 \cdot [0,006 \cdot 16,2 + 0,11(1 + 0,817)^2 + 0,228] = 35,7, \text{ МПа.}$$

Горизонтальна проекція контактної поверхні, що діє по дну калібру, дорівнює: $F_k = b_k \cdot \sqrt{R \cdot \Delta h} = 425 \text{ мм}^2$.

Горизонтальна проекція бічної поверхні розраховується за формулою:

$$F_6 = 0,02 \cdot \varphi \cdot h_p \left(0,84 \cdot \frac{h_3}{h_p} - 0,18 \right) \cdot \sqrt{R \cdot \Delta h}, \text{ мм}^2. \quad (2.24)$$

Після підстановки для першої прокатної кліті, отримаємо:

$$F_6 = 0,02 \cdot 18 \cdot 28(0,84 \cdot 0,667 - 0,18) \cdot 48,7 = 113,1, \text{ мм}^2.$$

Визначимо відношення висот в калібрі за формулою:

$$\frac{h_3}{h_p} = 5 \cdot \left(\frac{b_0}{b_k} - 1 \right) + 0,0325 \cdot \varepsilon - 0,027 \cdot \varphi + 0,305. \quad (2.25)$$

Для першої прокатної кліті це відношення дорівнює:

$$\frac{h_3}{h_p} = 5 \cdot \left(\frac{95}{85} - 1 \right) + 0,0325 \cdot 16,2 - 0,027 \cdot 17 + 0,305 = 0,667.$$

Повний тиск металу на валок розрахуємо за формулою:

$$P = P_B \cdot F_k + P_6 \cdot F_6, \text{ кН}; \quad (2.26)$$

Для першої прокатної кліті повний тиск на валок дорівнює:

$$P = 59,7 \cdot 425 + 35,7 \cdot 113,1 = 253,8 \text{ кН.}$$

Момент, необхідний для деформації в першій прокатній кліті дорівнює:

$$M_{пр} = 15,7 \text{ кН} \cdot \text{м.}$$

Результати розрахунку для усіх прокатних клітей занесемо в табл. 2.2.

З таблиці 2.1 видно, температура прокатування при проході від кліті до кліті зменшується через охолодження смуги, швидкість деформації збільшується через збільшення швидкості прокатування. Сила прокатування залежить від степеню деформації.

					КНУ.РБ.136.26.112с-11.02.РТПВСК	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		2.22

Таблиця 2.2 – Енергосилові параметри прокатування квадратної сталі 12×12 мм

№ кліті	Температура, t , °C	ε , %	u , c^{-1}	Термомеханічні коефіцієнти			σ_{TC} , МПа	f	n_p	P_B , МПа	P , кН
				k_t	k_ε	k_u					
1	1180	20,0	1,2	0,582	1,200	0,871	53,5	0,255	1,115	59,7	253,8
2	1150	21,9	2,19	0,617	1,277	0,896	62,0	0,261	1,309	81,16	273,6
3	1120	43,5	2,59	0,666	1,325	0,904	70,0	0,264	1,400	96,0	423,3
4	1090	40,8	5,62	0,720	1,00	0,954	84,0	0,266	1,400	117,6	416,0
7	1070	32,2	6,84	0,774	1,280	0,970	88,4	0,262	1,359	120,1	350,0
9	1060	36,0	15,8	0,799	1,305	1,059	98,0	0,250	1,418	138,6	360,0
13	1076	32,1	38	0,759	1,270	1,34	113,3	0,212	1,40	158,6	320,0
14	1082	44,4	52,7	0,745	1,490	1,45	142,3	0,189	1,134	161,4	380,2
15	1088	11,1	81,33	0,732	0,900	1,08	62,8	0,165	0,945	59,35	187,3
16	1094	22,4	123,3	0,718	1,290	1,42	128,1	0,141	1,42	181,9	188,1
17	1100	21,0	154,29	0,706	1,372	1,61	137,27	0,127	1,38	189,3	183,8

Вим.

Арк

№ докум.

Підпис

Дата

КНУ.РБ.136.26.112с-11.02.РТПВСК

2.23

Архив

ВИСНОВКИ

В результаті виконання кваліфікаційної роботи було досягнуто її мету і завдання.

В роботі розроблено оновлену технологію виготовлення сталевго квадрату розмірами 12×12 мм.

Проаналізовано призначення сталевго квадратного виробу розмірами 12×12 мм та визначено матеріал для його виготовлення, де перевагу надано низьковуглецевій сталі Ст3, визначено хімічний склад такого матеріалу.

Досліджено способи виготовлення сталевго прокату 12×12 мм і переваги надано гарячому прокатуванню, що забезпечить отримання якісного виробу.

В якості обладнання для гарячого прокатування пропонується безперервний дрібносортовий прокатний стан ДС 250-4.

Визначена послідовність технологічних операцій, що дозволять виготовити вірний профіль 12×12 мм.

Розраховано калібрування прокатних валків для отримання вірного профілю за мінімальну кількість проходів на прокатному стані.

Визначено енергосилові параметри процесу прокатування, що дозволяє оцінити витрати енергії на процес.

Використання наведеної технології та обладнання дозволить отримати якісний сталевий профілі зі стороною квадрату 12 мм.

					КНУ.РБ.136.26.112с-11.В		
Вим.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата			
Розробив	Скоркін				Літ.	Аркуш	Аркушів
Перевірив	Чубенко					1	1
Рецензент					ВИСНОВКИ Кафедра МЧМЛІВ гр. МТ-23-1ск		
Н. контр.	Чубенко						
Затвердив	Бабошко						

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Методичні вказівки до виконання випускної кваліфікаційної роботи для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня за спеціальністю 136 «Металургія» усіх форм навчання / С.Г. Савельєв, Л.Н. Саїтгарєєв, В.А. Чубенко, Т.П. Ярош, І.Е. Скідін, А.А. Хіноцька. – Кривий Ріг: Видавничий центр КНУ, 2022. – 32 с.

2. <http://www.arcelormittal.com/kryviyrih/>.

3. Бережний М.М., Чубенко В.А. Основи проектування технологічних ліній та комплексів металургійних цехів: монографія. Кривий Ріг: Видавничий дім, 2010. 444 с.

4. Чубенко В.А., Хіноцька А.А. Технологія прокатного виробництва: навчальний посібник. Кривий Ріг: Видавець ФОП Чернявський Д.О., 2017. 170 с.

5. Данченко В.М., Гринкевич В.О., Головка О.М. Теорія процесів обробки металів тиском: підручник. Дніпропетровськ: Пороги, 2008. 370 с.

6. Чубенко В.А., Хіноцька А.А. Технологія процесів обробки металів тиском: навчальний посібник. Кривий Ріг: Видавець Чернявський Д.О., 2020. 208 с.

7. 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.

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

9. Ніколаєв В.О. Теорія обробки металів тиском: навчальний посібник. Запоріжжя: ЗДІА, 2015. 112 с.

					КНУ.РБ.136.26.112с-11.Л					
Вим.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата	ЛІТЕРАТУРА					
Розробив	Скоркін							Літ.	Аркуш	Аркушів
Перевірив	Чубенко								1	2
Рецензент								Каф. МЧМЛВ гр. МТ-23-1ск		
Н. контр.	Чубенко									
Затвердив	бабошко									

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

11. Бережний М.М., Чубенко В.А., Хіноцька А.А., Шепель А., Чубенко В. Взаємодія технологічних параметрів в осередку деформації при сталому процесі прокатування. *Вісник НТУ ХПІ*. Харків, 2013. Вип. 43. С. 36-41.

12. Розрахунки параметрів процесів обробки металів тиском: навчальний посібник / В.М. Данченко, П.Л. Клименко, Л.Ф. Машкін, В.О. Гринкевич, О.М. Головка, П.В. Дрожжа. Дніпропетровськ: НМетАУ, 2002. 40 с.

13. Обладнання прокатних цехів. Навчальний посібник для студентів ЗДІА металургійних спеціальностей денної та заочної форми навчання / уклад. М.Г. Прищип. Запоріжжя: ЗДІА, 2016. 116 с.

14. Конспект лекцій з дисципліни Технологія процесів ОМТ: Основи калібровки валків для студентів напряму 6.050401 – Металургія (Обробка металів тиском) всіх форм навчання / уклад. М.М. Штода. Дніпродзержинськ: ДДТУ, 2016. 88 с.

15. Літовченко П.І., Іванова Л.П. Технологія конструкційних матеріалів: навчальний посібник Харків: НА НГУ, 2016. 306 с.

16. 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).

17. Національний стандарт України. Інформація та документація. Бібліографічне посилання. Загальні положення та правила складання. ДСТУ 8302:2015.

18. 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-11.Л	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		2