

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 ПРОЦЕСУ
ВИГОТОВЛЕННЯ СТАЛЕВОЇ ПРЯМОКУТНОЇ СМУГИ 60×10 мм
З БЕЗПЕРЕРВНО-ЛИТОЇ ЗАГОТОВКИ»**

Виконав:

студент групи МТ-23-1ск _____ Максим ГУТ

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 випускну атестаційну роботу бакалавра

Гут Максим Євгенович

1. Тема роботи: __ Дослідження та розробка процесу виготовлення сталеві прямокутної смуги 60×10 мм з безперервно-ливої заготовки _____

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

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

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

3. Вихідні дані до роботи: прокатний стан ДС-250 (характеристика стану); хімічний склад та механічні властивості Сталі 35 (хімічний склад); початковий розмір квадратної заготовки 60×60 мм; нагрівання до температури 1180°C; прокатування повинно відбуватися з натяжінням, яке не повинно перевищувати 0,5%.

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

1. Аналіз та призначення процесу виготовлення смуги прямокутного поперечного перерізу: характеристика, технічна характеристика обладнання, особливості прокатування.

2. Розробка процесу виготовлення сталеві прямокутної смуги 60×10 мм з безперервно-ливої заготовки: послідовність технологічних операцій, калібрування прямокутної сталі, швидкісні режими, енергосилові параметри процесу.

5. Перелік графічного матеріалу

Характеристика та загальний вигляд сталеві прямокутної смуги. Хімічний склад та властивості вуглецевої сталі марки Сталь 35. Схема розташування дрібносортового безперервного прокатного стану ДС 250. Послідовність технологічних операцій з виготовлення прямокутної сталеві смуги. Схема калібрування. Режими обтиснення. Енергосилові параметри.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Номер етапу	Назва етапів виконання бакалаврської роботи	Термін виконання етапів
1	Збір і обробка необхідного матеріалу для виконання кваліфікаційної роботи	19.01-27.01.2026
2	Аналіз літературних джерел та постановка завдання дослідження	28.01-08.02.2026
3	Аналіз, характеристика та призначення процесу виготовлення смуги прямокутного поперечного перерізу	09.02-25.02.2026
4	Технічна характеристика обладнання, особливості прокатування смуги прямокутного поперечного перерізу	26.02-10.03.2026
5	Розробка процесу виготовлення сталевій прямокутної смуги 60×10 мм з безперервно-ливої заготовки	11.03-10.04.2026
6	Послідовність технологічних операцій, калібрування прямокутної сталевій смуги	11.04-30.04.2026
7	Визначення швидкісних режимів, розрахунок енергосилових параметрів процесу виготовлення сталевій прямокутної смуги	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 _____ Максим ГУТ
(підпис)

Керівник випускної кваліфікаційної роботи _____ Вікторія ЧУБЕНКО
(підпис)

РЕФЕРАТ

до випускної кваліфікаційної роботи на тему:

«Дослідження та розробка процесу виготовлення сталеві прямокутної смуги 60×10 мм з безперервно-литої заготовки»

Пояснювальна записка: 57 стор., 4 табл., 5 рис., 25 джерел.

Об'єкт дослідження: прокатування сортових профілів.

Предмет дослідження: технологія прокатування сталеві прямокутної смуги 60×10 мм з безперервно-литої заготовки.

Мета роботи: дослідити та розробити технологічний процес виготовлення сталеві прямокутної смуги 60×10 мм з безперервно-литої заготовки.

Методи дослідження: ґрунтуються на теоретичному аналізі та практичних розрахунках процесу виготовлення сталеві прямокутної смуги 60×10 мм з безперервно-литої заготовки, на розрахункових методах калібрування прокатних валків, визначенні швидкісних режимів та силових параметрів процесу прокатування.

Результати роботи: досліджено способи виготовлення прямокутної сталеві смуги поперечного перерізу 60×10 мм; запропоновано матеріал для її виготовлення; визначено обладнання та послідовність технологічних операцій, що дозволять отримати заданий профіль; визначено калібрування прокатних валків та режими обтиснення, які забезпечують отримання потрібних розмірів профілю за мінімальну кількість проходів, визначено швидкісні умови обробки та силові параметри.

ПРЯМОКУТНА СМУГА, ГАРЯЧЕ ПРОКАТУВАННЯ, РЕЖИМИ ОБТИСНЕННЯ, ШВИДКІСТЬ ОБРОБКИ

					КНУ.РБ.136.26.112с-04.Р		
Вим.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата			
Розробив	Гут				Літ.	Аркуш	Аркушів
Перевірив	Чубенко					1	1
Рецензент					Кафедра МЧМЛВ гр. МТ-23-1ск		
Н. контр.	Чубенко						
Затвердив	Бабошко						
					РЕФЕРАТ		

ВІДОМІСТЬ МАТЕРІАЛІВ

	№ строки	Формат	Обозначение	Наименование	Кол. листов	№ экз.	Примечание
Перв. примен.	1						
	2	A4	КНУ.РБ.136.26.112с-04.ПЗ	Пояснювальна записка	57		
	3						
	4			Графічна частина			
	5			(Презентація)			
Справ. №	6	A4	КНУ.РБ.136.26.112с-04.01	Характеристика та загальний			
	7			вигляд сталевий прямокутної смуги	1		
	8	A4	КНУ.РБ.136.26.112с-04.02	Хімічний склад та властивості			
	9			вуглецевої сталі марки Сталь 35	1		
	10	A4	КНУ.РБ.136.26.112с-04.03	Схема розташування дрібносортового			
	11			безперервного прокатного			
	12			стану ДС-250	1		
	13	A4	КНУ.РБ.136.26.112с-04.04	Послідовність технологічних			
	14			операцій	1		
	15	A4	КНУ.РБ.136.26.112с-04.05	Схема калібрування	1		
Підп. и дата	16	A4	КНУ.РБ.136.26.112с-04.06	Результати розрахунку			
	17			режимів обтиснення	1		
	18	A4	КНУ.РБ.136.26.112с-04.07	Результати розрахунку			
	19			витрат енергії	1		
Инв. № дубл.	20						
	21						
	22						
Взам. инв. №	23						
	24						
Підп. и дата							
	КНУ.РБ.136.26.112с-04.В0						
Инв. № подл.	Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		
	Разраб.	Гут				Лит.	Лист
	Проб.	Чуденко				р д	1
	Н.контр.	Чуденко				Листов	
	Утв.	Бадарко				1	
Відомість об'єму матеріалів кваліфікаційної роботи Чертеж общего вида						кафедра МЧМ/В група МТ-23-1сх	
Копировал						Формат А4	

ЗМІСТ

	Стор.
РЕФЕРАТ.....	4
ВІДОМІСТЬ МАТЕРІАЛІВ.....	5
ВСТУП.....	7
1 АНАЛІЗ ТА ПРИЗНАЧЕННЯ ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ СМУГИ ПРЯМОКУТНОГО ПОПЕРЕЧНОГО ПЕРЕРІЗУ.....	8
1.1 Характеристика та призначення сталеві прямокутної смуги.....	8
1.2 Матеріал для отримання прямокутної смуги 60×10 мм.....	11
1.3 Визначення способу та обладнання для виготовлення прямокутної смуги 60×10 мм.....	12
1.4 Технічна характеристика обладнання безперервного прокатного стану ДС-250.....	20
1.5 Прокатування на стані ДС-250-4.....	24
1.6 Особливості прокатування смуги прямокутного поперечного перерізу.....	27
2 РОЗРОБКА ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ СТАЛЕВОЇ ПРЯМОКУТНОЇ СМУГИ 60×10 мм З БЕЗПЕРЕРВНО-ЛИТОЇ ЗАГОТОВКИ.....	30
2.1 Послідовність технологічних операцій з виготовлення прямокутної сталеві смуги розмірами 60×10 мм з безперервно-литої заготовки... ..	30
2.2 Калібрування прямокутної сталеві смуги розмірами 60×10 мм.....	31
2.3 Визначення швидкісних режимів при прокатуванні прямокутної смуги.....	40
2.4 Енергосилові параметри процесу виготовлення сталеві прямокутної смуги поперечним перерізом 60×10 мм.....	44
ВИСНОВКИ.....	54
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	55

					КНУ.РБ.136.26.112с-04.3			
Вим.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата	ЗМІСТ	Літ.	Аркуш	Аркушів
Розробив	Гут						1	1
Перевірив	Чубенко							
Рецензент								
Н. контр.	Чубенко					Кафедра МЧМЛВ гр. МТ-23-1ск		
Затвердив	Бабошко							

ВСТУП

Смуга прямокутного поперечного перерізу є дуже найпоширеним видом металопрокату, що використовується в багатьох галузях промисловості завдяки своїй універсальності, міцності, простоті обробки. Така смуга дуже потрібна в будівельній галузі через те, що вона використовується в будівельних конструкціях як елемент металоконструкцій, застосовується для створення перекриттів, виготовлення закладних деталей, для підсилення споруд, для виготовлення зварних балок та профільних труб; широко використовують в машинобудуванні при виготовленні деталей машин, гайок; в інструментальному виробництві при виготовленні ножів, різців тощо. Через це збільшення продуктивності процесу виготовлення прямокутної смуги перерізом 60×10 мм та покращення її якості є задача актуальна.

Мета роботи: дослідити та розробити сучасний процес виготовлення сталеві прямокутної смуги 60×10 мм з безперервно-ливої заготовки.

Для досягнення мети потрібно вирішити наступні задачі:

- проаналізувати призначення сталеві смуги, що має прямокутний переріз розмірами 60×10;
- визначити матеріал для виготовлення прямокутної смуги та його властивості;
- визначити спосіб виготовлення прямокутної смуги та обладнання;
- визначити спосіб отримання безперервно-ливої заготовки та її розміри;
- розрахувати калібрування для отримання вірного профілю за мінімальну кількість проходів;
- визначити швидкісні умови прокатування;
- розрахувати силові параметри прокатування.

					КНУ.РБ.136.26.112с-04.ВС					
Вим.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата	ВСТУП					
Розробив	Гут							Літ.	Аркуш	Аркушів
Перевірив	Чубенко								1	1
Рецензент								Кафедра МЧМЛВ гр. МТ-23-1ск		
Н. контр.	Чубенко									
Затвердив	Бабошко									

1 АНАЛІЗ ТА ПРИЗНАЧЕННЯ ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ СМУГИ ПРЯМОКУТНОГО ПОПЕРЕЧНОГО ПЕРЕРІЗУ

1.1 Характеристика та призначення сталеві прямокутної смуги

Сталева смуга – це універсальний вид металопродукату, що знаходить широке застосування у різних сферах промисловості: в будівництві та машинобудуванні, автомобілебудуванні, верстатобудуванні, енергетиці, сільському господарстві тощо.

Загальний вигляд прямокутної смуги прямокутного поперечного перерізу показано на рисунку 1.1.

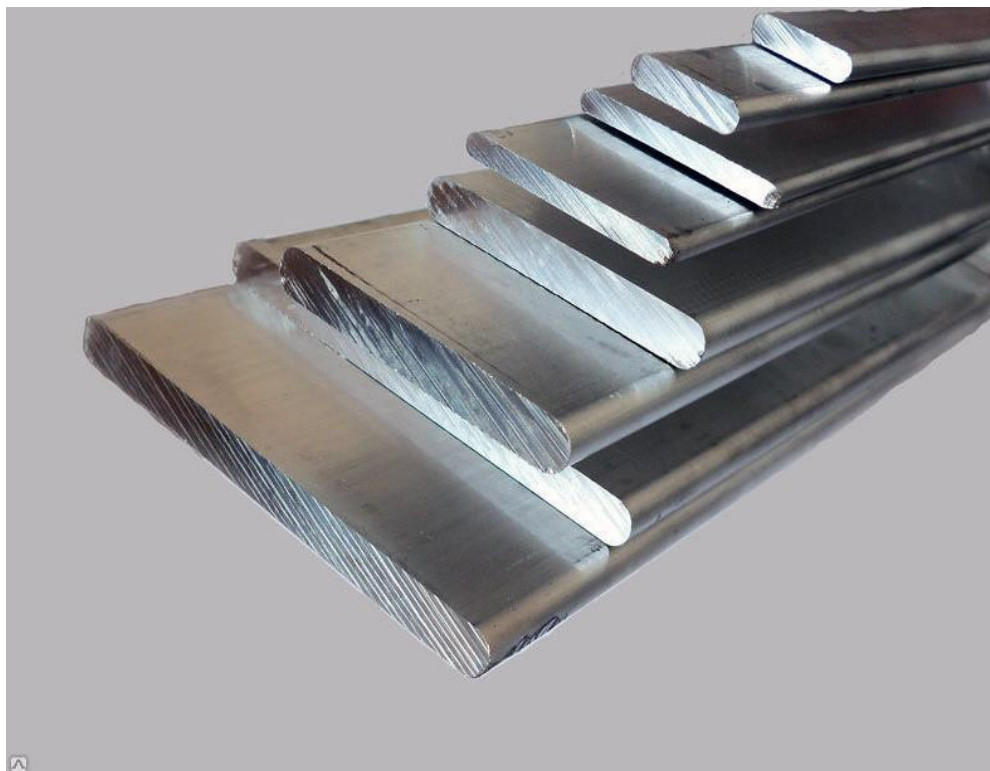


Рисунок 1.1 – Загальний вигляд сталеві смуги прямокутного поперечного перерізу

					КНУ.РБ.136.26.112с-04.01.АПІВСПІІІ					
Вим.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата	АНАЛІЗ ТА ПРИЗНАЧЕННЯ ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ СМУГИ ПРЯМОКУТНОГО ПОПЕРЕЧНОГО ПЕРЕРІЗУ					
Розробив	Гут							Літ.	Аркуш	Аркушів
Перевірив	Чубенко								1.1	22
Рецензент								Кафедра МЧМЛВ гр. МТ-23-1ск		
Н. контр.	Чубенко									
Затвердив	Бабошко									

Сталева смуги прямокутного поперечного перерізу може використовуватися як готовий виріб, а може застосовуватися як напівфабрикат, з якого виготовляють різні металеві вироби, наприклад, кутові профілі, швелери, гайки, ножі, зварні труби, пружини, ресори тощо.

В будівельній промисловості сталеві смуги прямокутного поперечного перерізу використовуються самостійний матеріал для будівництва стін та для покрівельних робіт, для створення перекриттів.

Матеріал для виготовлення сталеві смуги прямокутного поперечного перерізу – конструкційна сталь, що є достатньо міцним матеріалом.

Сталева смуга прямокутного поперечного перерізу – це один з видів сортового металопрокату. Такому металовиробу характерні велика довжина та невелика ширина. Виготовляють такий металовиріб прокатуванням в гарячому або холодному стані.

Характеристики та розміри такої смуги залежать від конкретних умов використання та призначення:

- товщина такої смуги знаходиться в межах від 4 до 80 мм;
- ширина від 10 до 200 мм;
- довжина мірна – від 6 до 12 м, не мірна від 2 до 12 м.

Для сталеві смуги прямокутного поперечного перерізу розмірами 60×10 мм граничні відхилення за товщиною дорівнюють +0,2 і – 0,5 мм та за шириною дорівнюють +0,5 і – 1,0 мм.

До сталеві смуги пред'являють вимоги до її властивостей:

- універсальність – застосовується в різних галузях народного господарства;
- висока міцність – повинна витримувати великі навантаження;
- добра оброблюваність – повинна добре піддаватися механічній обробці, обробці різанням, зварюванню;
- доступність – повинна виготовлятися з доступних матеріалів;
- при роботі в агресивних середовищах вимагає додаткового антикорозійного покриття.

					КНУ.РБ.136.26.112с-04.01.АППВСПП	Аркуш
						1.2
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Сталева смуга прямокутного поперечного перерізу класифікується за декількома ознаками:

- за точністю виготовлення: звичайної точності та підвищеної;
- за маркою матеріалу: вуглецева, легована, оцинкована;
- за станом матеріалу: термічно оброблена та необроблена;
- за видами обробки: обрізна та необрізна.

Сталева смуга є універсальним матеріалом, що використовується в багатьох галузях народного господарства як готова продукція і напівфабрикат. Сталева смуга прямокутного поперечного перерізу широко застосовується як будівельний матеріал для зведення об'єктів промислового, цивільного та військового призначення. Це якісний конструкційний матеріал з якого виготовляють різні металоконструкції, машини та механізми різного призначення, деталі та елементи різного обладнання.

Сталева смуга, що має прямокутний поперечний переріз широко використовується в будівництві для створення будівельних конструкцій, таких як рами для будівель, колони, балки, перекриття, для створення закладних деталей для бетонних конструкцій. Такий матеріал здатний забезпечувати високу міцність та стійкість будівельних об'єктів.

Такий металовиріб з успіхом використовують для виготовлення різних металевих деталей та вузлів для машин та механізмів та їх обладнання: для виготовлення каркасів механізмів, шасі автомобілів, корпусів та рам промислового призначення, для отримання зварних сталевих труб, сталеву смугу використовують для отримання кріпильних елементів, накладок, фланців, перемичок.

Сталева смуга прямокутного поперечного перерізу широко застосовується в енергетиці. З неї виготовляють різні конструкції та енергетичне обладнання, споруджують опори ліній електропередачі, елементи вогнегенераторів, підставки для сонячних батарей.

					КНУ.РБ.136.26.112с-04.01.АППВСПП	Аркуш
						1.3
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Сталева смуга прямокутного поперечного перерізу широко використовується для отримання побутових товарів та їх елементів: для виготовлення меблів, огороження, піддонів, інструментів тощо.

Таку смуги використовують для отримання декоративних виробів.

Прямокутна сталевая смуга 60×10 мм має наступні розміри: ширина 60 мм; товщина 10 мм. Така товщина дозволяє витримувати достатні навантаження, що характеризує виріб підвищеною стійкістю та функціональністю. Випускаються такі вироби довжиною 6 м.

1.2 Матеріал для отримання прямокутної смуги 60×10 мм

Для виготовлення сталевих смуг, які мають прямокутний поперечний переріз 60×10 мм широко пропонується використовувати вуглецеву сталь марки Сталь 35. Ця сталь відноситься до конструкційної якісної сталі.

Така сталь має високу міцність, стійкість та помірну пластичність.

Через те, що такий матеріал має високу міцність сталевая смуга прямокутного поперечного перерізу здатна витримувати великі навантаження, має високу несучу здатність, високу ударну міцність, зносостійкість, добре піддається оброблюваності різанням, обробці тиском, добре термічно оброблюється, але погано піддається зварюванню. Для виконання зварювання потрібно додатковий підігрів.

Хімічний склад сталі 35 наведено в таблиці 2.1

Таблиця 2.1 – Хімічний склад Сталі 35

C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Cu	As
0,32– 0,4	0,17– 0,37	0,5– 0,8	до 0,3	до 0,04	до 0,035	до 0,25	до 0,3	до 0,08

					КНУ.РБ.136.26.112с-04.01.АППВСППП	Аркуш
						1.4
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Межа міцності $\sigma_B=530$ МПа;
 межа текучості $\sigma_{0.2}=315$ МПа;
 відносне подовження $\delta=20\%$;
 відносне звуження $\psi=45\%$;
 термічна обробка – нормалізація;
 температура плавлення – 1500°C .

1.3 Визначення способу та обладнання для виготовлення прямокутної смуги 60×10 мм

Прямокутна смуга, що має розміри поперечного перерізу 60×10 мм, переважно, виготовляється гарячим прокатуванням.

Прокатування – це процес обтиснення металу прокатними валками, що обертаються. При цьому смуга обтискується, розширюється і подовжується, в результаті чого отримує потрібну форму та розміри.

Усі процеси прокатування можна класифікувати за декількома ознаками:

- за взаємним розташуванням осей оброблююмого матеріалу та інструменту;
- за зміною величини зазору між прокатними валками;
- за взаємодією прокатних валків з оброблюваним матеріалом;
- за температурою оброблюваного матеріалу.

За взаємним розташуванням осей оброблююмого матеріалу та інструменту процеси прокатування класифікують на:

- поздовжнє прокатування;
- поперечне прокатування;
- поперечно-гвинтове прокатування.

При поздовжньому прокатуванні осі оброблююмого матеріалу та інструменту розташовані перпендикулярно. Прокатні валки обертаються один назустріч іншому, оброблюваний матеріал рухається поступально. Використовується такий вид прокатування для виготовлення сортових, листових, профілів, смуг прямокутного поперечного перерізу.

					КНУ.РБ.136.26.112с-04.01.АППВСПП	Аркуш
						1.5
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

При поперечному прокатуванні осі обробляемого матеріалу та інструменту розташовують паралельно. Прокатні валки обертаються в одному напрямку, оброблюваний матеріал обертається в інший бік. Такий вид прокатування використовується для отримання виробів – тіл обертання: валів, осей, втулок тощо.

При поперечно-гвинтовому прокатуванні осі прокатних валків нахилені одна до іншої під деяким кутом. Прокатні валки мають обертальний рух, оброблюваний матеріал має два рухи одночасно – обертається і рухається поступально. Таким чином обробка здійснюється по гвинтовій поверхні. Цей процес широко використовується при отриманні отвору в суцільному матеріалі, при прошиванні труб в суцільній заготовці, для виготовлення куль, для отримання гвинтової поверхні.

Для отримання прямокутної смуги, що має розміри в поперечному перерізі 60×10 мм будемо використовувати поздовжнє прокатування.

За зміною величини зазору процеси прокатування класифікують на прокатування з постійним зазором та змінним.

Для отримання смуги прямокутного поперечного перерізу розмірами 60x10 мм потрібно використовувати процеси прокатування з постійним зазором для отримання рівномірної гладкої зовнішньої поверхні.

За температурою обробки процеси прокатування класифікують на гаряче прокатування та холодне. В більшості випадків використовують гаряче прокатування, де відбувається перед обробкою тиском нагрівання сталевих матеріалів з метою зменшення його опору пластичній деформації. Нагрівання здійснюється до температури 1050-1300°C в залежності від хімічного складу матеріалу.

При холодній обробці процес прокатування відбувається при кімнатній температурі. Такий процес обробки здійснюється для м'яких матеріалів, що мають не великий опір пластичній деформації або для тонких та дрібних виробів, наприклад, при прокатуванні тонколистової сталі.

					КНУ.РБ.136.26.112с-04.01.АППВСПП	Аркуш
						1.6
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для отримання сталевий прямокутної смуги розмірами 60×10 мм будемо використовувати процеси гарячого прокатування.

Обладнання, що використовують при прокатуванні має назву прокатного стану.

Прокатний стан – це комплекс машин та механізмів, на яких отримують виробу заданої форми та розмірів завдяки здатності металів до пластичної деформації.

Усі прокатні стани класифікують за декількома ознаками:

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

За призначенням прокатні стани класифікують в залежності від виду обробки та випускаємої продукції. Вони за призначенням поділяються на обтискні, сортові, листові, трубопрокатні, спеціальні прокатні стани

До обтискних відносять блюмінги та слябінги, що випускають крупногабаритні блюми та сляби. На таких прокатних станах здійснюються великі обтиснення.

Сортіві прокатні стани служать для отримання сортової продукції різної форми та розмірів. На цих прокатних станах випускають прокат круглого поперечного перерізу, квадратного, шестигранного, кутові профілі, швелери, балки рейки тощо.

Сортіві прокатні стани в залежності від розміру прокатних валків поділяють на:

- крупносортіві стани: діаметр прокатних валків від 500 мм до 70 мм;
- рейкоболкові стани: діаметр прокатних валків від 750 мм до 900 мм;
- середньосортіві стани: діаметр прокатних валків від 350 мм до 500 мм;
- дрібносортіві стани: діаметр прокатних валків від 250 мм до 330 мм;
- дрові стани: діаметр прокатних валків від 150 до 280 мм.

					КНУ.РБ.136.26.112с-04.01.АПВСПП	Аркуш
						1.7
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Листові прокатні стани служать для отримання листової продукції. Класифікують листові прокатні стани на:

- штрипсові стани: діаметр прокатних валків від 300 мм до 400 мм;
- товстолистові стани: довжина бочки прокатних валків до 5500 мм;
- широкосмугові стани гарячого прокатування: довжина бочки прокатних валків до 2500 мм;
- тонколистові прокатні стани холодного прокатування: довжина бочки прокатних валків до 5500 мм;
- широкосмугові стани холодного прокатування: довжина бочки прокатних валків до 2800 мм;
- універсальні смугові прокатні стани: довжина бочки валків до 2000 мм.

Трубопрокатні стани служать для виготовлення безшовних труб поділяють на: безперервні, пілігримові, автоматичні, тривалкові.

До спеціальних прокатних станів відносять колесобандажні прокатні стани; осепрокатні, кулькопрокатні тощо.

Для отримання сталеві смуги прямокутного поперечного перерізу розмірами 60×10 мм, яка відноситься до сортової продукції, будемо використовувати дрібносортові прокатні стани.

За кількістю робочих клітей прокатні стани класифікують на одноклітові, багатоклітьові.

Одноклітьові прокатні стани мають тальки одну робочу кліть. До таких прокатних станів відносяться обтискні, деякі листові прокатні стани, деякі трубопрокатні: автоматичний трубопрокатний стан, пілігримовий.

До багатоклітових відносять сортові прокатні стани, деякі листові, деякі трубопрокатні.

Для отримання точного розміру сталеві смуги прямокутного поперечного перерізу розміром 60×10 мм будемо використовувати багатоклітьові прокатні стани, в яких відбувається послідовне обтиснення ороблюваного матеріалу.

					КНУ.РБ.136.26.112с-04.01.АПВСПП	Аркуш
						1.8
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

За кількістю прокатних валків у робочій кліті прокатні стани поділяють на двовалкові (дуо), тривалкові (трио), чотиривалкові, шестивалкові, дванадцятивалкові та двадцяти валкові.

Переважає більшість прокатних станів – це прокатні стани, що мають двовалкові прокатні кліті. До таких станів відносяться сортопрокатні стани, деякі листопркатні та трубопркатні.

Тривалкові прокатні стани є дуже низькопродуктивними і через це використовуються рідко.

Чотиривалкові прокатні стани мають два опорних прокатних валка та два робочих прокатних валка. Це дозволяє підвищити жорсткість робочої кліті. Такі стани використовують для прокатування листів.

Шести-, дванадцяти- та двадцятивалкові робочі кліті використовують для прокатування тонких листів. Чим більша кількість прокатних валків, тим більша жорсткість робочої кліті, що дозволяє отримати більш тонкий лист.

Для отримання смуги прямокутного поперечного перерізу розміром 60×10 мм будемо використовувати двовалкові прокатні стани.

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

Реверсивні прокатні стани забезпечують рух оброблюваного матеріалу як в прямому, так і при зворотному напрямку. При цьому в обох цих напрямках виконується обтиснення. Це одноклітьові прокатні стани. В реверсивному режимі, як правило, працюють обтискні прокатні стани. До таких прокатних станів відносять блюмінги, слябінги, деякі листові прокатні стани. такі прокатні стани мають не високу швидкість обробки і, відповідно, не велику продуктивність процесу.

Беперервні прокатні стани – це та прокатні стани де оброблюваний матеріал знаходиться в декількох прокатних клітях одночасно. Умова безперервності – це постійність секундних об'ємів, тобто за одну секунду в кожній прокатній кліті повинен проходити один і той же об'єм оброблюваного

					КНУ.РБ.136.26.112с-04.01.АППВСПП	Аркуш
						1.9
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

матеріалу. такі прокатні стани є найсучасними та високопродуктивними. В порівнянні з іншими прокатними станами безперервним характерна висока швидкість обробки. До таких прокатних станів відносять сортові прокатні стани, деякі листові, безперервний трубопрокатний агрегат.

Напівбезперервні прокатні стани мають у своєму складі реверсивну кліті і безперервну групу прокатних клітей. До таких прокатних станів відносять деякі листові прокатні стани.

Для виготовлення сталеві смуги прямокутного поперечного перерізу 60×10 мм перевагу надаємо безперервному прокатному стану через його сучасність та високу продуктивність.

Таким чином в роботі в якості прокатного обладнання обрано дрібносортовий безперервний прокатний стан гарячого прокатування ДС-250 АрселорМітал Кривий Ріг (рис. 1.2).

Пропонуємий прокатний стан складається з 23 двовалкових робочих клітях, що розділяються на чорнову, напівчостову та чистову групи.

Чорнова група клітей прокатного стану має сім горизонтальних двовалкових прокатних клітей; напівчотова група прокатних клітей містить чотири двовалкові прокатні кліті; чистова група клітей містить шість двовалкових прокатних клітей: три кліті мають вертикальне розташування та три – горизонтальне. Таке розташування прокатних клітей чергується між собою. До складу прокатного стану також і відносяться додатково шість прокатних клітей, у яких чергується розташування вертикальне з горизонтальним, але вони задіяні в іншій технологічній лініях.

Розміри прокатних валків, їх тип, розташування та призначення наведено в таблиці 1.2.

					КНУ.РБ.136.26.112с-04.01.АППВСПП	Аркуш
						1.10
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

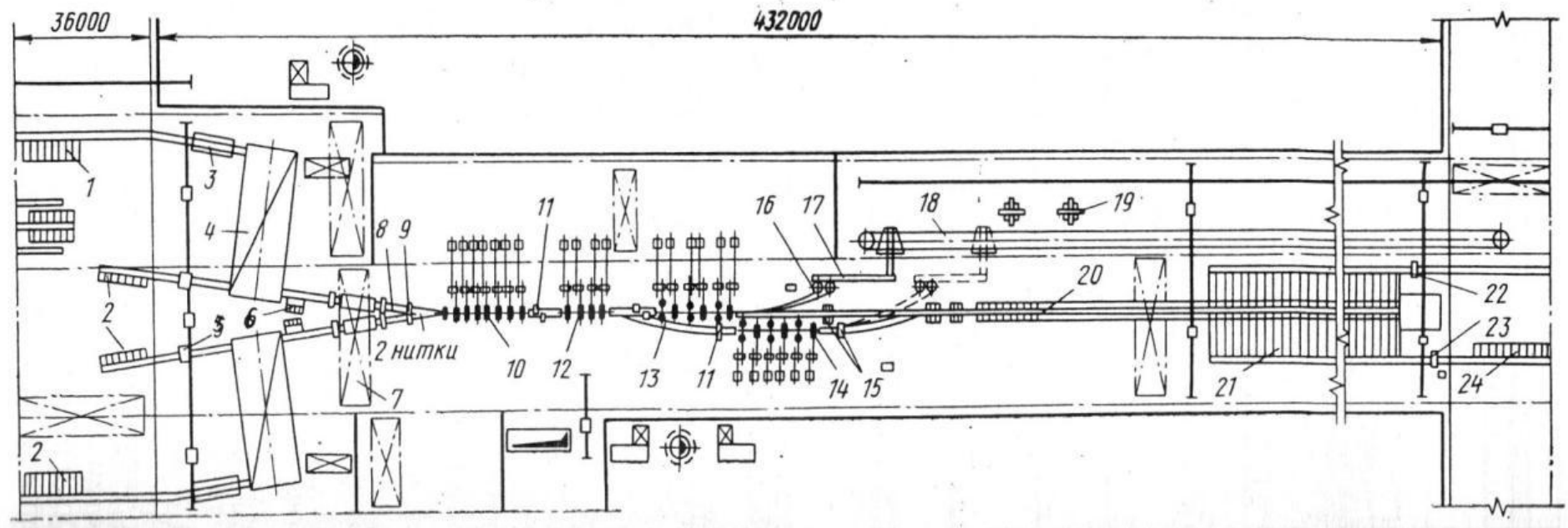


Рисунок 1.2– Схема розташування дрібносортового безперервного прокатного стану ДС-250: 1 – завантажуючі ґрати; 2 – ґрати для розвантаження; 3 – приймальні ваги; 4 – методична нагрівальна піч; 5 – обладнання для вогневого розрізання металу; 6 – стикозварювальна машина; 7 – петльові ями; 8 – індукційні нагрівальні печі; 9 – кривошипно-важильні летючі ножиці; 10 – чорнова група клітей; 11 – летючі аварійні ножиці; 12 – проміжна група прокатних клітей; 13 – петлеутворювач; 14 – чистова група прокатних клітей; 15 – летючі ножиці; 16 – моталки для змотування в рулони; 17 – транспортери для бунтів; 18 – крюкові конвеєри; 19 – пакувальники; 20 – рольганг до холодильника; 21 – холодильник; 22 – обладнання для правлення прокату; 23 – ножиці; 24 – прибиральні кармани

Таблиця 1.2 – Характеристика прокатних клітей безперервного дрібносортового прокатного стану ДС-250

Група клітей	№ кліті	Тип	Діаметр, мм	Довжина, мм
Чорнова група робочих клітей	1	Горизонтальна	400	800
	2	Горизонтальна	400	800
	3	Горизонтальна	400	800
	4	Горизонтальна	400	800
	5	Горизонтальна	400	800
	6	Горизонтальна	400	800
	7	Горизонтальна	400	800
Проміжна група робочих клітей	8	Горизонтальна	380	400
	9	Горизонтальна	380	400
	10	Горизонтальна	380	400
	11	Горизонтальна	380	400
Чистова група робочих клітей	12	Вертикальна	270	400
	13	Горизонтальна	270	400
	14	Вертикальна	250	400
	15	Горизонтальна	250	400
	16	Вертикальна	250	400
	17	Горизонтальна	250	400

Швидкість в прокатних клітях можна регулювати завдяки наявності для кожної прокатної кліті індивідуального приводного двигуна. Для отримання потрібного розміру можливе використання на всіх прокатних клітей. Через це деякі залишають холостими.

					КНУ.РБ.136.26.112с-04.01.АППВСПП	Аркуш
						1.12
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.4 Технічна характеристика обладнання безперервного прокатного стану ДС-250

До складу безперервного дрібносортного прокатного стану 250-4 відносять наступні вузли:

- завантажувальний шлепер, який служить для приймання початкового матеріалу зі складу та подальшої подачі його на підвідний рольганг. Шлепер допускає максимальне навантаження до 70 т; максимальний темп подачі початкового матеріалу дорівнює 20 с; середня швидкість транспортування матеріалу дорівнює 0,082 м/с;

- завантажувальний рольганг використовують для подавання початкового матеріалу від шлеперів до втаскуючих устаткувань. Він має у своєму складі 3 холостих і 42 привідних роликів у яких діаметр дорівнює 250 мм та довжина 400 мм; вони мають індивідуальний привід змінного струму від електричного двигуна;

- знімальний пристрій використовують для видалення бракованих матеріалів, що мають поверхневі порізи або інші дефекти. Видаляють такі вироби із завантажувального рольгангу до кишені; кількість таких пристроїв дорівнює трем;

- втаскуючий пристрій використовують для подачі вихідних матеріалів від рольгангу до нагрівальної печі. Пристрій має станину, редуктор, привід та приводні ролики. Виштовхування здійснюється з зусиллям, яке дорівнює 350 кг; втаскування матеріалів відбувається зі швидкістю, що дорівнює 1,6 м/с;

- нагрівна піч застосовують для нагрівання початкових матеріалів з вуглецевої та легованої сталі перед прокатуванням до потрібної температури, яка залежить від хімічного складу матеріалу. Тип нагрівної печі – методична рекуперативна з двома зонами опалення. Піч має похилий під, бічну посадку та видачі заготовок; режим роботи нагрівної печі є безперервний; розміри матеріалів, які нагрівають: поперечний переріз 80×80 мм; довжина складає від 10,0 м до 11,9 м, вага до 600 кг. Піч має наступні розміри: ширина печі дорівнює

					КНУ.РБ.136.26.112с-04.01.АППВСПП	Аркуш
						1.13
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

12,5 м; довжина печі дорівнює 15,5 м; годинна продуктивність печі дорівнює 110 т/годину. Піч, що обслуговує дрібносортовий прокатний стан ДС-250-4 працює на природньому газі при теплоті згорання 8050 кКал/нм³ або на коксовому газі при теплоті згорання 4015 кКал/нм³;

- з торцевої частини печі встановлено штовхач заготовок, який призначено для проштовхування оброблюваних матеріалів по поду нагрівної печі. Тип штовхача – кривошипно-важільний; працює з хусиллям переміщення до 42 т та швидкістю переміщення 0,20 м/с;

- виштовхуючий пристрій використовується для видачі нагрітих матеріалів з методичної печі та спрямування їз до витягуючого пристрою. Тип пристрою штанговий; швидкість руху виштовхуючої штанги дорівнює 1,6 м/с;

- для виштовхування заготовок та транспортування їх по рольгангу використовують витягуючий пристрій. Кількість такого устаткування дорівнює 2 штуки; транспортування відбувається за швидкістю 0,65 м/с;

- від печі до трайбапарату встановлено сполучний рольганг, який призначено для транспортування заготовок. Транспортування відбувається зі швидкістю 2,50 м/с;

- трайбапарат використовують для подачі та спрямування початкового матеріалу до першої кліті прокатного стану по напрямним долобам. Конструктивне виконання та технічна характеристика трайбапарату аналогічна витягуючому пристрою;

- горизонтальні робочі кліті прокатного стану чорнової та проміжної групи мають закритий тип. Горизонтальна кліть має у своєму складі наступні вузли та механізми: дві, з'єднання між собою станини; устаткування, яке регулює верхній прокатний валок з електричним приводом та рівнем підняття прокатного валка; устаткування для регулювання нижнього прокатного валку, яке оснощено ручним приодом; механізм для встановлення прокатних валків, що забезпечує їх переміщення в осьовому напрямку; підвіски прокатних валків, які забезпечують пружинне врівноваження; система охолодження прокатних валків;

					КНУ.РБ.136.26.112с-04.01.АПВСПП	Аркуш
						1.14
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

мастильний трубопровід, що використовується для живлення підшипників, що прикріплюється до робочої кліті за допомогою затискного механізму;

- ножиці для обрізання використовують для гарячого обрізання кінців розкату та його аварійної порізки. Такі ножиці встановлюють за чорновими групами робочих клітей. Кількість ножиць дорівнює двум штукам. Виконують розрізання при прокатуванні на швидкості, яка не перевищує 4,5 м/с. температура розкату, який розрізається цими ножицями не повинна приблизно дорівнювати 1000°C. Максимальна площа поперечного перерізу розкату, який розрізається не перевищує 300 мм²;

- стійка, що має направляючі жолоби використовується для спрямування робкату між робочими клітями.

Для транспортування коробів з обрізами в скрапний проліт використовують передаточний візок. Його вантажопідйомність дорівнює 25 т; швидкість транспортування дорівнює 52,5 м/хв; загальна довжина складає 5,50 м.

Для аварійної порізки розкатів використовують аварійні ножиці, які встановлено перед чистовими групами робочих клітей. Кількість таких ножиць дорівнює 2 штукам. Температура матеріалу, який розрізається, не повинна перевищувати 900°C. Довжина аварійної порізки не повинна перевищувати 1800 мм.

Для переміщення розкатів використовують транспортуючий рольганг. Замість рольгангу можуть бути використані передаточні жолоба.

Чистові групи прокатних клітей складаються з основного вузла, змінних касет, які можуть бути вертикальні та горизонтальні, що чергуються між собою. Робочі кліті мають пересувний механізм для встановлення змінної касети та механізм вертикального регулювання прокатних валків.

Для розрізання прокату перед холодильником під час його руху використовують двобарабанні ножиці. Їх кількість – дві штуки. Вони мають наступні елементи: привід, маховик та самі ножиці. Швидкість руху розкату при

					КНУ.РБ.136.26.112с-04.01.АППВСПП	Аркуш
						1.15
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

розрізання складає від 4,5 до 20 м/с; максимальне зусилля розрізання дорівнює 15000 т; ножиці ріжуть зі швидкістю, яка дорівнює від 5 до 22 м/с.

Для термозміцнення прокату в потоці прокатного стану використовують термічне устаткування.

За термічним устаткуванням встановлено підводячий та приймальний рольганг, який призначено для транспортування прокатних виробів, отриманих на прокатному стані до холодильника. Кількість таких рольгангів дорівнює дві штуки. Транспортування матеріалів на рольгангу здійснюється зі швидкістю в межах від 6,5 до 24 м/с.

Для спрямування передніх кінців смуги до холодильника використовують відбійник.

Холодильник використовують для охолодження готового прокату. Тип холодильника – двосторонній рейковий правого та лівого виконання. Холодильник має довжину, яка дорівнює 140 м. Для торцювання передніх кінців виробів, складених у пакети використовують дворядний торцюючий рольганг.

За 800 т ножицями встановлено відвідний і збиральний рольганг, який призначено для транспортування готового прокату до ножиць холодного розрізання та збирання розрізаного матеріалу в пакети та скидання в кишенью. Швидкість транспортування виробів на такому рольгангу дорівнює 3,0 м/с.

Для розрізання пакетів та смуг на мірні довжини, які дорівнюють від 6,0 до 24,0 м, використовують ножиці холодного розрізання. Кількість таких ножиць на прокатному стані дорівнює 2 штуки. Максимальне зусилля розрізання дорівнює 800 т. Ширина розрізаємих смуг дорівнює 1000 м.

За 800 т ножицями встановлені пересувні упори правого та лівого виконання. Кількість таких упорів дорівнює 2 штуки. Упор встановлюють на довжину розкатів, яка дорівнює від 6,0 до 12,0 м. швидкість переміщення цього упору дорівнює 0,20 м/с.

Для затримання пакетів розкатів перед відвантажувальними кишнями використовують поворотний упор. Кількість таких упорів на дрібносортовому прокатному дорівнює 4 штукам. Максимальна енергія удару складає 2600 кг/м.

					КНУ.РБ.136.26.112с-04.01.АППВСПП	Аркуш
						1.16
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для зважування готової продукції використовують ваги з кишенями.

Для нагрівання початкового матеріалу перед прокатуванням використовують штовхальні рекуперативні методичні печі. Вони повністю механізовані. Методична піч має у своєму складі дві самостійно опалювальні зони: зварювальну та томильні зони. Кожна з цих зон має дев'ять двопрхідних пальників, які призначені для спалювання палива, що подіється у піч. Під має монолітний похилий під. В печі пересувається матеріал за допомогою штовхача. Видається з печі за допомогою виштовхувача.

Таким чином, використовуючи основне та допоміжне обладнання прокатного стану, можна отримати вироби потрібної форми, розмірів та якості.

1.5 Прокатування на стані ДС-250-4

Технологічний процес прокатування виробів на дрібносортовому прокатному стані ДС-250-4 відповідає схемі, яка наведена на рис. 1.2 і відповідає технології прокатки гарячекатаної смуги загального призначення.

На першому етапі відбувається підготування початкового матеріалу до прокатування. В якості початкового матеріалу для отримання прямокутної розміром 60×10 мм пропонується використовувати безперервнолиту заготовку, яка прямокутну форму поперечного перерізу, що отримана на машині безперервної розливки сталі криволінійного типу. Така заготовка має визначені переваги в порівнянні з заготовкою, що отримано дискретним способом через те, що вона має більш якісну і рівномірну внутрішню структуру, де відсутні пори та тріщини, точні геометричні розміри, мещу кількістю поверхневих дефектів. Відхилення її номінальних розмірів не перевищує допустимі за стандартами. Перед прокатуванням здійснюють візуальний контроль початкового матеріалу з метою виявлення дефектів. У випадку присутності поверхневих дефектів, їх видаляють за допомогою вогневого зачищення, зачищенням абразивними кругами або механічним зачищенням за зняттям стружки, або виконують зачищення за допомогою пневматичної вирубки.

					КНУ.РБ.136.26.112с-04.01.АППВСПП	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		1.17

При необхідності виконують випрямлення початкового матеріалу на ролокоправильній машині. Потрібно очистити поверхню заготовки від окалини, здійснити контроль поверхневих та внутрішніх дефектів. Зачищені заготовки подають на склад для подальшого їх прокатування.

Підготовлені заготовки подають на приймальні решітки нагрівної печі, після чого втягують у піч спеціальним пристроєм, де і відбувається нагрівання матеріалу до температури прокатування в залежності від хімічного складу оброблюваного матеріалу.

Дуже важливо під час нагрівання забезпечити рівномірний розподіл температури за усім поперечним перерізом оброблюваного матеріалу та його довжиною. Це забезпечить рівномірну деформацію при обробці металовиробу і отримання точних розмірів профілю. У випадку нагрівання сталевих виробів, матеріал яких схильний до знеуглецювання, зазвичай, зменшують тривалість нагрівання та його температуру.

Після нагрівання, гаряча заготовка виштовхується з нагрівної печі за допомогою виштовхувача і спрямовується до ножиць, де обрізається її передній кінець перед тим, як подати заготовку до чорнової групи прокатних клітей. Після прокатування в чорновій групі клітей, розкат обтискується в чистовій групі клітей прокатного стану.

Між чорнової та чистовою групами робочих клітей розташовують летючі ножиці для розрізання розкатів у випадку аварійної ситуації.

Потрібно вірно визначити швидкісний режим прокатування з врахуванням константи калібрування, величина якої визначається за кожною робочою кліттю прокатного стану, враховуючи мінімальну пропускну здатність.

У випадку прокатування профілів, яка мають не великий поперечний переріз, величина константи калібрування та максимальна швидкість прокатування обмежуються максимальною потужністю приводу чистових груп робочих клітей і технічно можливою швидкістю приймання розкатів на холодильник. Потрібно постійно підтримувати необхідну частоту обертання

					КНУ.РБ.136.26.112с-04.01.АППВСПП	Аркуш
						1.18
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

прокатних валків з заданою точністю. Для цього використовують автоматичні системи регулювання швидкості двигунів прокатних станів.

Для забезпечення надійного натягнення в чорнових групах прокатних клітей, необхідно витримувати не велику швидкість руху оброблюваного матеріалу. В чистових групах прокатних клітей швидкістю руху оброблюваного матеріалу суттєво збільшується.

Після прокатування во всіх прокатних клітях, отримують готовий профіль, який подається на моталки або ріжеться на мірні довжини і подається на холодильник, де відбувається його охолодження до кімнатної температури.

Вибір схеми охолодження оброблюваного матеріалу залежить від його температури, від хімічного складу сталі та потрібного рівня механічних властивостей. Під час охолодження, потрібно збереження, або, навіть, підвищення технологічних властивостей оброблюваного матеріалу та зменшення його втрат в окалину.

У випадку охолодження прокату до 600-750°C виникає зміна внутрішньої структури матеріалу, міцність прокату підвищується до 20 % при збереженні його пластичності.

У випадку прискореного охолодження до вказаних температур може відбутися теплове виправлення розкатів. При поєднанні процесу охолодження розкату за усім поперечним перерізом з додатковим охолодженням найбільш масивних елементів профілю, можна отримати складні фасонні профілі з високими механічними властивостями та мінімальної кривизною.

Після охолодження відбуваються контрольні операції, де перевіряють розміри профілю та їх граничну відхилення, твердість матеріалу, після цього здійснюють маркування, обробляють консервантом та пакують. Готові вироби транспортують на склад готової продукції або завантажують у залізничні вагони замовникам.

Принципи поточності виробництва на прокатних станах забезпечують сприятливі умови для автоматизації виробництва. На дрібносортовому безперервному прокатному стані ДС-250 автоматизовано завантаження

					КНУ.РБ.136.26.112с-04.01.АПВСПП	Аркуш
						1.19
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

початкових матеріалів перед обробкою у нагрівальну піч, автоматично регулюється тепловий режим нагрівання початкових матеріалів, автоматизовано обрізання переднього кінця розкату на ножицях після обробки на чорнових групах прокатних клітей, обрізка на летючих ножицях перед холодильником тощо. Вводяться в експлуатацію комплексні системи автоматизованого керування технологічним процесом, які оснащене електронно обчислювальними машинами. Завдяки цим системам можна досягти стабільність технологічних параметрів процесу прокатування виробів, чим забезпечується підвищення точності розмірів розкатів, покращення якості поверхні та механічних властивостей продукції.

1.6 Особливості прокатування смуги прямокутного поперечного перерізу

Для отримання смуги прямокутного поперечного перерізу використовують прокатні валки з гладкою бочкою та ребровими калібрами.

Робочі кліті прокатного сану мають прокатні валки, які розташовані як горизонтально, так і вертикально. Вертикальні прокатні валки дозволяють отримати прямокутну смугу потрібної ширини. Наявність чергування прокатних валків горизонтального з вертикальним розташуванням дозволяє отримати вироби без кантування, що забезпечує безперервність процесу прокатування та високу швидкість обробки, що дозволяє підвищити продуктивність процесу. Для отримання точних розмірів ширини смуги використовують один або два ребрових калібра (рис. 1.3).

На чорнових калібрах використовується система калібрування «прямокутник – гладка бочка». Така система характеризується універсальністю та дозволяє отримати прямокутні смуги різних розмірів за рахунок зміни зазору між прокатними валками, що дозволяє змінювати величину обтиснення оброблюваного матеріалу, що дозволяє уникнути перевалок прокатних валків при переході на інший профіль.

					КНУ.РБ.136.26.112с-04.01.АПВСПП	Аркуш
						1.20
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

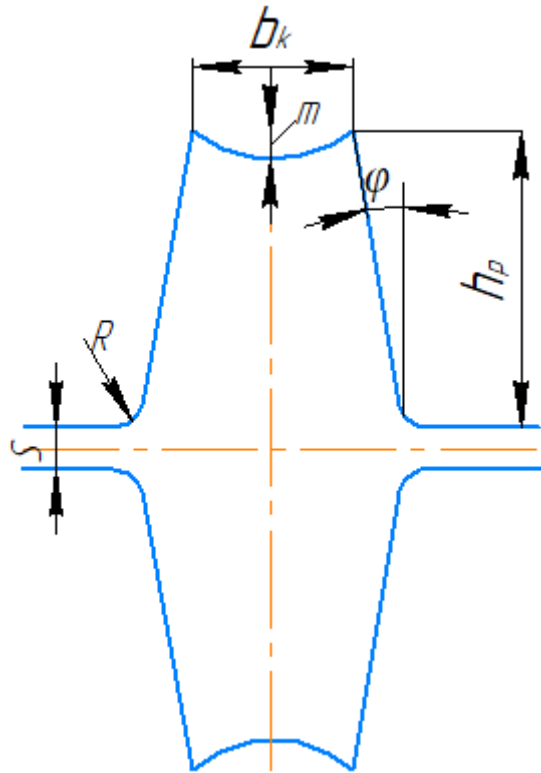


Рисунок 1.3 – Ребровий калібр: h_p – глибина врізання в калібр;
 b_k – ширина калібру; R – радіус закруглень по буртам; S – зазор між
 прокатними валками; m – стріла прогину; φ – кут нахилу випуску калібра

Важливе значення має прокатування матеріалу на гладких прокатних валках, через те, що така обробка забезпечує видалення окалини з поверхні оброблюваної заготовки. На гладкій бочці розкат отримують прямокутну форму поперечного перерізу, після чого, в чорнових калібрах відбувається кантавання і подальше прокатування в ящиківому калібрі (рис. 1.4).

Кути захоплення смуги прокатними валками на гладкій бочці повинні бути меншими за кути захоплення у прямокутних калібрах. Прокатування на гладкій бочці здійснюється з вільним розширенням металу. За інтенсивністю пластичних деформацій та витяжок при прокатуванні система «прямокутник-гладка бочка» поступається системі прямокутних калібрів, але має більшу універсальність, що дозволяє скоротити кількість перевалок прокатних валків і якісне видалення окалини, що забезпечує її широке використання для отримання прямокутних профілів.

					КНУ.РБ.136.26.112с-04.01.АППВСПП	Аркуш
						1.21
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

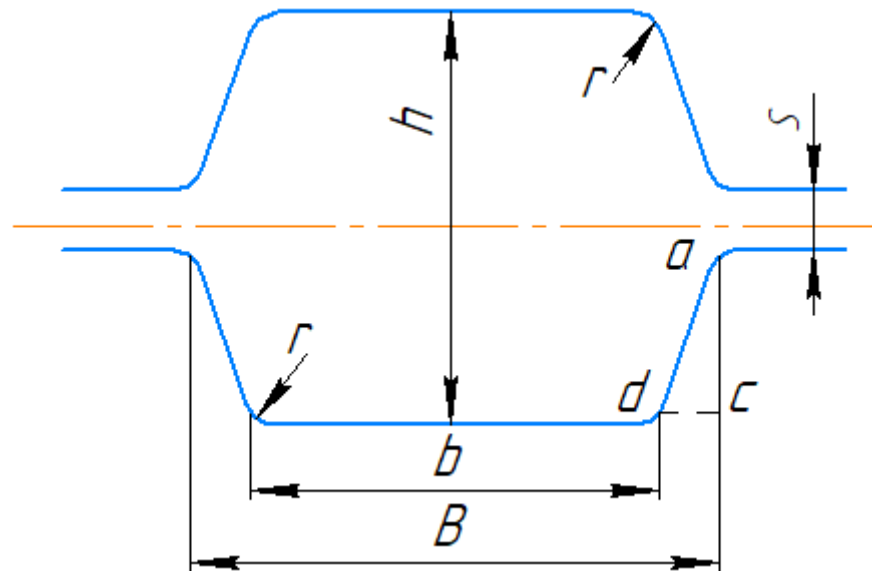


Рисунок 1.4 – Форма ящикового калібру: h – висота ящикового калібру;
 B – ширина по буртам; b – ширина по днищу калібру; r – радіус
 закруглень; S – зазор між прокатними валками;
 a і c – розміри випуску калібра

Прокатування прямокутної смуги розмірами 60×10 будемо вести в одну лінію. Прокатування відбувається з натягінням, яке не повинно перевищувати $0,5\%$. З метою перевірки якості зовнішньої поверхні готового профілю кожна партія виробів проходить ретельний поверхневий огляд на холодильнику. Передній кінець розкату повинен мати рівні, не викривлену форму. Шпинделі на чистовій групі прокатних клітей не повинні здійснювати вібраційний рух та мати однакових кут нахилу до середньої лінії прокатування. Прокатування прямокутних профілів потрібно вести з урахуванням мінусового допуску та теплового розширення смуги.

Використання безперервно-ливої заготовки потрібних розмірів є можливість уникнути чорнових проходів на прокатному стані ДС-250. Тому будемо використовувати тільки проміжні та чистові прокатні кліті. Проміжні кліті мають систему калібрів «овал – ребровий овал», що дозволяють виконати великі витяжки.

					КНУ.РБ.136.26.112с-04.01.АПВСПП	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		1.22

2 РОЗРОБКА ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ СТАЛЕВОЇ ПРЯМОКУТНОЇ СМУГИ 60×10 мм З БЕЗПЕРЕРВНО-ЛИТОЇ ЗАГОТОВКИ

2.1 Послідовність технологічних операцій з виготовлення прямокутної сталеві смуги розмірами 60×10 мм з безперервно-литої заготовки

Для отримання вірного профілю сталеві смуги потрібно виконати технологічні операції в наступній послідовності:

1) Підготування початкового матеріалу. В якості початкового матеріалу використовуємо безперервно-литу заготовку квадратного поперечного перерізу, розмірами 60×60 мм, яка отримана на криволінійній машині безперервної розливки. Її огляд, зачищення поверхневих дефектів. Контроль розмірів.

2) Нагрівання безперервно-литої заготовки в методичній печі до температури 1180°С.

3) Транспортування нагрітого матеріалу до чорнових клітей прокатного стану.

4) Прокатування в безперервно-литої заготовки в чорновій групі прокатних клітей за розрахованими режимами.

5) Прокатування в чистових клітях прокатного стану за розрахованими режимами.

6) Розрізання розкату на летючих ножицях.

7) Транспортування на рольгангу до холодильника.

8) Охолодження прокату на холодильнику.

9) Прувка виробів на правильних машинах.

10) Клеймування та здача готового прокату.

					КНУ.РБ.136.26.112с-04.02.РПВСПС					
Вим.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата	РОЗРОБКА ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ СТАЛЕВОЇ ПРЯМОКУТНОЇ СМУГИ					
Розробив	Гут							Літ.	Аркуш	Аркушів
Перевірив	Чубенко								2.1	24
Рецензент								Кафедра МЧМЛВ гр. МТ-23-1ск		
Н. контр.	Чубенко									
Затвердив	Бабошко									

2.2 Калібрування прямокутної сталеві смуги розмірами 60×10 мм

Калібрування прокатних валків для отримання відного профілю залежить від самого профілю, типу прокатного стану та його технічної характеристики, якості оброблюваного матеріалу тощо.

Калібрування будемо вести в наступній послідовності:

1. Визначаємо схему калібрування (рис. 2.1).

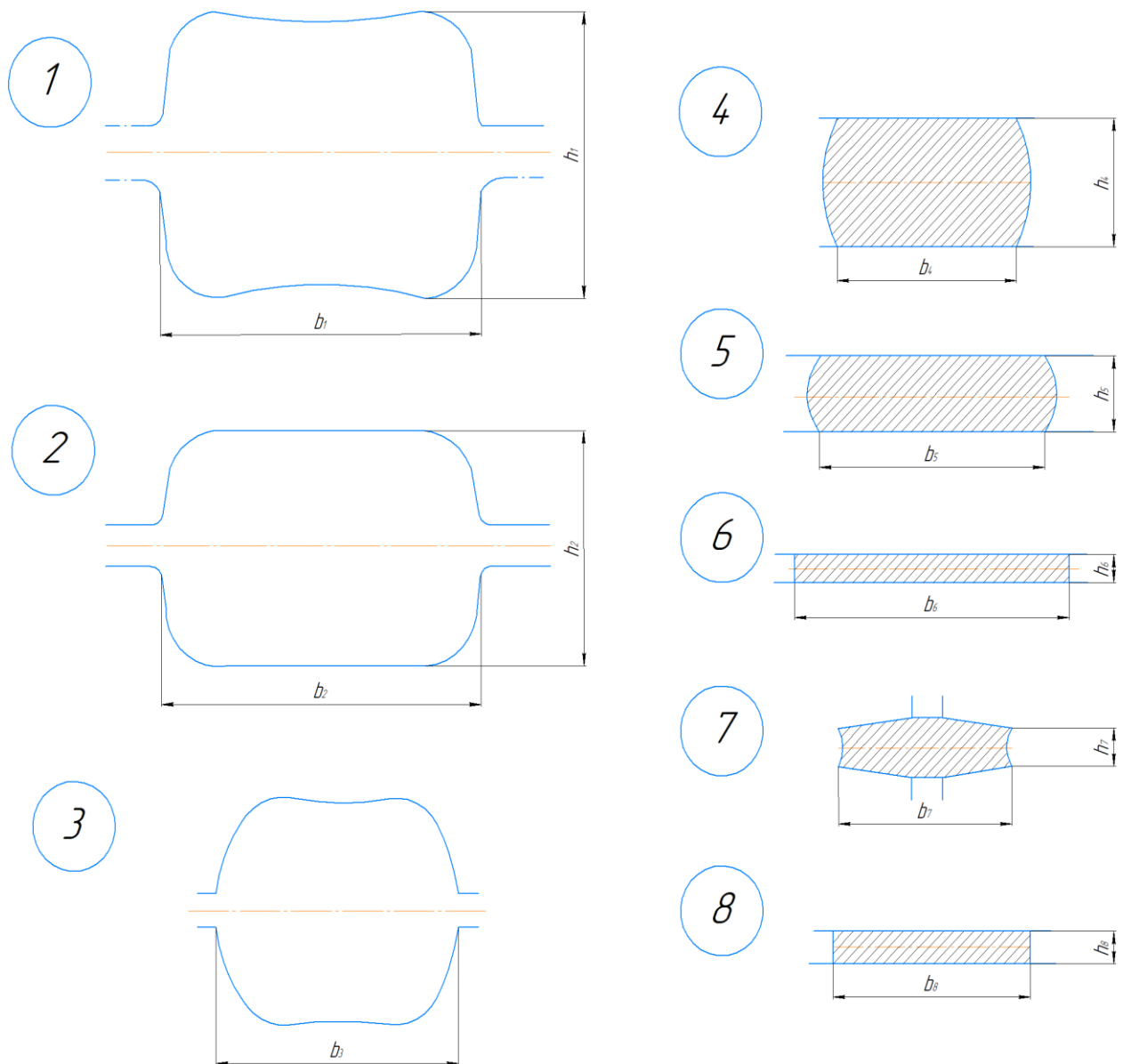


Рисунок 2.1 – Схема калібрування

Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

2. Визначаємо розміри готового профілю в гарячому стані з врахуванням граничних відхилень з акцентом на мінусовий допуск.

3. Визначаємо коефіцієнт зменшення висоти за стандартом з залежності від режиму обтиснення (обраємо середній режим обтиснення).

4. Визначаємо розміри початкового матеріалу в залежності від виду заготовки.

5. Встановлюємо висоту та ширину смуги у кожному проході.

6. Визначаємо кут захоплення та розширення смуги в кліті.

7. Встановлюємо загальний коефіцієнт витяжки та за кожним проходом.

8. Виконуємо корегування отриманих даних у разі потреби, уточнюємо розмір початкового матеріалу.

В результаті калібрування потрібно отримати точні розміри прямокутної сталеві смуги:

Висота смуги дорівнює: $h = 10_{-1,0}^{+0,2}$ мм;

ширина смуги дорівнює: $b = 60_{-1,0}^{+0,5}$ мм.

Визначаємо розміри профілю в гарячому стані з врахуванням граничних відхилень за формулами:

$$b_r = \left(b + \frac{\Delta}{2}\right) (1,012 \dots 1,015), \quad (2.1)$$

$$h_r = \left(h + \frac{\Delta}{2}\right) (1,012 \dots 1,015),$$

де b, h – розміри смуги в холодному стані;

Δ – мінусовий допуск за стандартом.

Після підстановки потрібних значень, отримаємо:

- висота дорівнює: $b_r = \left(60 - \frac{1,0}{2}\right) 1,014 = 60,3$ мм;

- ширина дорівнює: $h_r = \left(10 - \frac{0,5}{2}\right) 1,014 = 9,89$ мм.

В якості початкового матеріалу використовується безперервно-лита заготовка квадратного поперечного перерізу розмірами 60×60 мм, який прокатується в чорнових калібрах, які мають ящикову форму.

					КНУ.РБ.136.26.112с-04.02.РПВСПС	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		2.3

Загальна кількість проходів приймаємо 8.

Чорнові калібри мають ящикову форму, розташовані горизонтально. Для забезпечення всебічного обтиснення перед третьої чорною кліттю виконується кантування розкату на 90° .

Проміжні і чистові калібри мають гладку форму, розташовують горизонтально. Передчистовий калібр має форму ребрового овалу, який розташовується вертикально.

При прокатуванні потрібно виконати загальну витяжку, яка визначається за формулою:

$$\mu_{\text{заг}} = \frac{F_0}{F_r}, \quad (2.2)$$

де F_0 – площа поперечного перерізу безперервно литою заготовки, яка визначається за формулою:

$$F_0 = b_0 h_0, \quad (2.3)$$

де b_0 – ширина безперервно-ливої заготовки, $b_0 = 60$ мм;

h_0 – висота безперервно-ливої заготовки, $h_0 = 60$ мм;

$$F_0 = 60 \cdot 60 = 3600 \text{ мм}^2;$$

F_r – площа поперечного перерізу готового виробу:

$$F_r = 60,9 \cdot 9,89 = 596,37 \text{ мм}^2.$$

Тоді, загальний коефіцієнт витяжки дорівнює:

$$\mu_{\text{заг}} = \frac{3600}{596,37} = 6,0365.$$

Загальний коефіцієнт витяжки розподіляємо між дев'ятьма проходами за формулою:

$$\mu_i = \sqrt[n]{\mu_{\text{заг}}}, \quad (2.4)$$

де n – загальна кількість проходів.

$$\mu_i = \sqrt[8]{6,0365} = 1,23.$$

В подальшому, в розрахунках буде отримано уточнення розмірів витяжок за проходами в кожному калібрі.

					КНУ.РБ.136.26.112с-04.02.РПВСПС	Аркуш
						2.4
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Отримаємо за кожним проходом розкати, площа поперечного перерізу яких визначається за формулою:

$$F_{i-1} = F_i \mu_i. \quad (2.5)$$

Розрахунок ведемо проти руху прокатування.

У останньому дев'ятому проході потрібно отримати чистовий розмір в гарячому стані, який дорівнює:

$$F_T = F_9 = 596,37 \text{ мм}^2.$$

Розрахунок ведемо проти руху прокатування. На виході з восьмої робочої кліті потрібно отримати кінцевий профіль, який має розміри в гарячому стані: 60,3×9,89 мм.

Ширина смуги після сьомого калібру визначається за формулою:

$$b_7 = b_8 - \Delta b_8, \quad (2.6)$$

де Δb_8 – величина розширення у восьмому калібрі, визначається за формулою:

$$\Delta b_8 = \frac{2b\Delta h_8}{(h_8+h_7)\left[1+(1+\alpha)\left(\frac{b_9}{R\alpha}\right)^n\right]}, \quad (2.7)$$

де Δh – величина абсолютного обтиснення, визначається за формулою:

$$\Delta h_i = h_{i-1} - h_i, \quad (2.8)$$

де h_{i-1} – висота смуги в i -му проході;

h_i – висота смуги в наступному проході;

R – радіус прокатних валків;

α – кут захоплення смуги прокатними валками;

n – показник ступень, що залежить від форми осередку деформації.

Кут захоплення металу прокатними валками визначається за формулою:

$$\alpha_i = \arccos\left(1 - \frac{\Delta h_i}{D_{bi}}\right), \quad (2.9)$$

де D_{bi} – діаметр прокатних валків в i -тій прокатній кліті.

					КНУ.РБ.136.26.112с-04.02.РПВСПС	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		2.5

Для восьмої прокатної кліті $D_{b8} = 250$ мм.

Для дев'ятого проходу приймаємо $\Delta h_8 = 2,5$ мм.

Тоді висота розкату в попередній передчистовій кліті, що вертикально розташовано повинна бути рівною: $b_7 = 12,5$ мм.

Кут захоплення у восьмій прокатній кліті:

$$\alpha_8 = \arccos\left(1 - \frac{2,5}{250}\right) = 8,1^\circ = 0,141 \text{ рад.}$$

Отримаємо розширення у восьмій прокатній кліті:

$$\Delta b_8 = \frac{2 \cdot 60 \cdot 2,5}{(12,5+10)\left[1+(1+0,141)\left(\frac{60}{125 \cdot 0,141}\right)^2\right]} = 2,73 \text{ мм.}$$

Коефіцієнт зменшення висоти у восьмій прокатній кліті визначається за формулою:

$$\eta_8 = \frac{h_8}{h_r} \quad (2.10)$$

Після підстановки отримаємо:

$$\eta_8 = \frac{12,5}{10} = 1,25.$$

Такий коефіцієнт відповідає середньому режиму обтиснення в чистовому проході.

Наступний калібр сьомий– ребровий вертикально розташований, у якому обтиснення відбувається по горизонталі.

Визначено, що сьомий калібр має ширину $b_7 = 12,5$ мм.

Ширина такого калібру визначається за формулою:

$$b_i = b_{i-1} - \Delta b_i. \quad (2.11)$$

Після підстановки отриманих значень ширина калібру дорівнює:

$$h_7 = 60 - 2,75 = 57,25 \text{ мм.}$$

Таким чином, в сьомому ребровому вертикальному калібрі отримано смуги розмірами $12,5 \times 57,25$ мм.

Площа поперечного перерізу розкату у восьмому калібрі дорівнює:

$$F_7 = 715,644 \text{ мм}^2.$$

					КНУ.РБ.136.26.112с-04.02.РПВСПС	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		2.6

Коефіцієнт витяжки у восьмому калібрі дорівнює:

$$\mu_8 = \frac{715,64}{596,37} = 1,2.$$

Обтиснення в сьомому ребровому калібрі визначається, яке виконується по горизонталі за формулою:

$$\Delta h_7 = (0,5 \dots 0,8) \cdot h_7. \quad (2.12)$$

Після підстановки отримаємо величину обтиснення в ребровому калібрі:

$$\Delta h_7 = 0,5 \cdot 12,5 = 6,25 \text{ мм.}$$

Ширина смуги, що задає задається у ребровий калібр і виходить з сьомого знаходиться за формулою:

$$b_6 = b_7 + \Delta h_7. \quad (2.13)$$

$$b_6 = 57,25 + 6,25 = 63,5 \text{ мм.}$$

Катаючий діаметр в ребровому калібрі визначається за формулою:

$$D_{ki} = D_{bi} - b_i. \quad (2.14)$$

Після підстановки, отримаємо:

$$D_{к6} = 250 - 63,5 = 186,5 \text{ мм.} \quad (2.15)$$

Кут захоплення в ребровому калібрі дорівнює:

$$\alpha_6 = \arccos(1 - 6,25/250) = 15^\circ = 0,26 \text{ рад.}$$

Розширення в ребровому калібрі дорівнює:

$$\Delta b_7 = \frac{2 \cdot 12,5 \cdot 6,25}{(57,25 + 63,5) \left[1 + (1 + 0,26)^{\frac{12,5}{93 \cdot 0,26}} \right]} = 0,797 \approx 0,8 \text{ мм.}$$

Товщина смуги на виході з шостої робочої кліті, яка задається в ребровий калібр:

$$h_6 = 12,5 - 0,8 = 11,7 \text{ мм.}$$

Розміри смуги після шостої кліті на гладкій бочці горизонтально розташованій: 63,5×11,7 мм.

Площа поперечного перерізу смуги після шостого проходу дорівнює:

$$F_6 = 742,95 \text{ мм}^2.$$

					КНУ.РБ.136.26.112с-04.02.РПВСПС	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		2.7

Коефіцієнт витяжки у сьомому калібрі дорівнює:

$$\mu_7 = \frac{742,95}{715,64} = 1,04.$$

П'ятий калібр гладкий, розташований горизонтально.

Приймаємо коефіцієнт зменшення висоти для середнього режиму обтиснення $\eta_5 = 1,6$.

Тоді, висота смуги у п'ятому калібрі буде дорівнювати:

$$h_5 = 11,7 \cdot 1,6 = 18,0 \text{ мм.}$$

Величина обтиснення в п'ятому калібрі дорівнює:

$$\Delta h_5 = 18,0 - 11,7 = 6,3 \text{ мм.}$$

Визначаємо кут захоплення смуги прокатними валками в п'ятому калібрі:

$$\alpha_5 = \arccos(1 - 6,3/270) = 11,47^\circ = 0,23 \text{ рад.}$$

Розширення у п'ятому калібрі дорівнює:

$$\Delta b_5 = \frac{2 \cdot 63,5 \cdot 6,3}{(18+11,7) \left[1 + (1+0,23) \left(\frac{63,5}{135 \cdot 0,23} \right)^2 \right]} = 4,36 \text{ мм.}$$

Ширина смуги в п'ятому калібрі дорівнює:

$$b_5 = 63,5 - 4,36 = 59,14 \text{ мм.}$$

Таким чином отримали смугу в п'ятому калібрі:

$$F_5 = 59,14 \times 18,0 = 1064,52 \text{ мм}^2.$$

Коефіцієнт витяжки у шостому калібрі дорівнює:

$$\mu_6 = \frac{1064,52}{742,95} = 1,43.$$

Четвертий калібр гладкий горизонтальний.

Коефіцієнт зменшення висоти в калібрі приймаємо $\eta_4 = 1,6$.

Тоді висота четвертого калібру дорівнює:

$$h_4 = 18,0 \cdot 1,6 = 28,8 \text{ мм.}$$

Величина обтиснення в четвертому калібрі дорівнює:

$$\Delta h_4 = 28,8 - 18,0 = 10,8 \text{ мм.}$$

					КНУ.РБ.136.26.112с-04.02.РПВСПС	Аркуш
						2.8
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Визначаємо кут захоплення смуги прокатними валками в четвертому калібрі:

$$\alpha_4 = \arccos(1 - 10,8/380) = 15^\circ = 0,26 \text{ рад.}$$

Розширення в п'ятому калібрі дорівнює:

$$\Delta b_4 = \frac{2 \cdot 59,14 \cdot 10,8}{(28,8 + 18,0) \left[1 + (1 + 0,2) \left(\frac{59,14}{190 \cdot 0,26} \right)^2 \right]} = 10,02 \text{ мм.}$$

Ширина смуги в четвертому калібрі дорівнює:

$$b_4 = 59,14 - 10,02 = 49,12 \text{ мм.}$$

Таким чином отримали смугу в п'ятому калібрі:

$$F_4 = 49,12 \times 28,8 = 1414,12 \text{ мм}^2.$$

Коефіцієнт витяжки у п'ятому калібрі дорівнює:

$$\mu_5 = \frac{1414,12}{1064,52} = 1,33.$$

Виконуємо розрахунок чорнової групи прокатних клітей, які мають ящикову форму.

Визначаємо коефіцієнт витяжки в останніх чотирьох проходах.

$$\mu_{1-4} = \frac{F_0}{F_5} = \frac{3600}{1414,12} = 2,546.$$

Площа поперечного перерізу розкату в першому проході дорівнює:

$$F_1 = \frac{F_0}{\mu_i} = \frac{3600}{1,26} = 2857 \text{ мм}^2.$$

Задаємо величину обтиснення на першому проході: $\Delta h = 15 \text{ мм}$.

Тоді, отримаємо висоту розкату після першої прокатної кліті:

$$h_1 = 60 - 15 = 45 \text{ мм.}$$

Ширину розкату отримаємо за формулою:

$$b_1 = \frac{F_1}{h_1}. \quad (2.16)$$

Після підстановки, отримаємо:

$$b_1 = \frac{2857}{45} = 63,49 \text{ мм.}$$

Відбулося розширення в кліті, яке дорівнює:

$$\Delta b_1 = 63,49 - 60,0 = 3,49 \text{ мм.}$$

					КНУ.РБ.136.26.112с-04.02.РПВСПС	Аркуш
						2,9
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Кут захоплення металу прокатними валками в першій кліті дорівнює:

$$\alpha_1 = \arccos\left(1 - \frac{15}{400}\right) = 15,74^\circ.$$

Таким чином після першої кліті отримали розкат розмірами 63,49×45,0 мм.

Площа поперечного перерізу розкату в другому проході дорівнює:

$$F_2 = \frac{2857}{1,26} = 2267,5 \text{ мм}^2.$$

Задаємо величину обтиснення на другому проході: $\Delta h_2 = 12$ мм.

Тоді, отримаємо висоту розкату після другої прокатної кліті:

$$h_1 = 45,0 - 12 = 33,0 \text{ мм.}$$

Ширина розкату після другої прокатної кліті дорівнює:

$$b_2 = \frac{2267,5}{33} = 68,7 \text{ мм.}$$

В другій кліті відбулося розширення, яке дорівнює:

$$\Delta b_2 = 68,7 - 63,49 = 5,2 \text{ мм.}$$

Кут захоплення металу прокатними валками в другій кліті дорівнює:

$$\alpha_2 = \arccos\left(1 - \frac{12}{400}\right) = 14,1^\circ.$$

Таким чином після другою робочої кліті отримали розкат розмірами:

$$68,7 \times 33,0 \text{ мм.}$$

Перед третьою робочої кліттю з метою виконання всебічного обтиснення потрібно виконати кантування на 90° , де висота та ширина розкату міняються місцями.

В третій прокатній кліті призначаємо обтиснення $\Delta h_3 = 16$ мм.

Тоді отримаємо висоту розкату: $h_3 = 68,7 - 18 = 50,7$ мм.

Площа поперечного перерізу розкату в третьому проході дорівнює:

$$F_3 = \frac{2267,5}{1,26} = 1814 \text{ мм}^2.$$

Ширина розкату після третьої прокатної кліті дорівнює:

$$b_3 = \frac{1814}{50,7} = 35,7 \text{ мм.}$$

В третій кліті відбулося розширення, яке дорівнює:

$$\Delta b_3 = 35,7 - 33,0 = 1,2 \text{ мм.}$$

					КНУ.РБ.136.26.112с-04.02.РПВСПС	Аркуш
						2.10
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Кут захоплення металу прокатними валками в першій кліті дорівнює:

$$\alpha_3 = \arccos\left(1 - \frac{16}{400}\right) = 16,1^\circ.$$

Таким чином після третьої прокатної кліті отримано розкат розмірами: 50,7×35,2.

Перед четвертою прокатної кліттю виконується кантування на 90°, після чого висота і ширина розкату міняються місцями.

Маємо площу поперечного перерізу розкату після четвертого проходу:

$$F_4 = 1414,12 \text{ мм}^2.$$

Корегуємо коефіцієнт витяжки:

$$\mu_4 = \frac{F_3}{F_4} = \frac{1814}{1414,12} = 1,28.$$

Потрібно виконати обтиснення в четвертій прокатній кліті:

$$\Delta h_4 = 52,7 - 49,12 = 3,58 \text{ мм.}$$

При цьому відбудеться розширення смуги:

$$\Delta b_4 = 34,2 - 28,5 = 5,7 \text{ мм.}$$

Коефіцієнт витяжки у четвертому калібрі дорівнює:

$$\mu_4 = \frac{1814,0}{1414,12} = 1,28.$$

Результати розрахунку заносимо в табл. 2.1

З таблиці видно, що площа поперечного перерізу розкату поступово зменшується, коефіцієнт витяжки приблизно рівномірно розподілене між прокатними клітями.

2.3 Визначення швидкісних режимів при прокатуванні прямокутної смуги

Для визначення швидкості прокатування в останній робочій кліті безперервного прокатного стану скористаємося формулою постійності секундних об'ємів: $F_1 \cdot v_1 = F_2 \cdot v_2 = \dots = F_n \cdot v_n = const.$

Тоді швидкість прокатування в попередній прокатній кліті визначається за формулою:

					КНУ.РБ.136.26.112с-04.02.РПВСПС	Аркуш
						2.11
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.1 – Результати розрахунку режимів обтиснення

№ проходу	Форма та розташування калібру	F , мм ² .	μ	b , мм	h , мм	Δb , мм	Δh , мм	α , °
Безперервно-лита заготовка		3600,0	-	60,0	60,0	-	-	-
1	Ящиковий горизонтальне	2857,0	1,26	63,49	45,0	3,49	15,0	15,74
2	Ящиковий горизонтальне	2267,5	1,26	68,7	33,0	5,2	12,0	14,1
Кантування на 90°								
3	Ящиковий горизонтальне	1814,0	1,26	34,2	52,7	2,7	16	11,1
Кантування на 90°								
4	Гладкий горизонтальне	1414,12	1,28	49,12	28,5	13,29	7,6	15,0
5	Гладкий горизонтальне	1064,52	1,33	59,14	18,0	10,22	10,8	11,47
6	Гладкий горизонтальне	742,95	1,43	63,5	11,7	4,36	6,3	13,2
7	Ребровий вертикальне	715,64	1,04	12,5	57,25	0,8	6,25	15,0
8	Гладкий горизонтальне	596,37	1,2	60,3	9,89	-	-	8,1

Вим.

Арк.

№ докум.

Підпис

Дата

КНУ.РБ.136.26.112с-04.02.РПВСПС

2.12

Архив

$$v_{i-1} = \frac{v_i F_i}{F_{i-1}} = \frac{v_i}{\mu_i}, \quad (2.17)$$

де v_i – швидкість прокатування в даній кліті;

μ_i – коефіцієнт витяжки в даній кліті.

З технічної характеристики прокатного стану відомо, що швидкість прокатування в останній восьмій прокатній кліті дорівнює $v_8 = 20$ м/с.

При цьому частота обертання прокатних валків знаходиться за формулою:

$$n = \frac{60 \cdot v}{\pi \cdot D_k}. \quad (2.18)$$

де D_k – катаючий діаметр прокатних валків в даній робочій кліті.

Частота обертання прокатних валків в останній восьмій прокатній кліті дорівнює:

$$n_8 = \frac{60 \cdot 20}{\pi \cdot 0,25} = 1528,66 \text{ об/хв.}$$

Швидкість прокатування у сьомій прокатній кліті буде дорівнювати:

$$v_7 = \frac{20}{1,2} = 16,67 \text{ м/с.}$$

Частота обертання прокатних валків у сьомій прокатній кліті:

$$n_7 = \frac{60 \cdot 16,67}{\pi \cdot 0,25} = 1273,89 \text{ об/хв.}$$

Швидкість прокатування в шостій прокатній кліті дорівнює:

$$v_6 = \frac{16,67}{1,04} = 16,02 \text{ м/с.}$$

Частота обертання прокатних валків у шостій прокатній кліті:

$$n_6 = \frac{60 \cdot 16,02}{\pi \cdot 0,25} = 1224,46 \text{ об/хв.}$$

Швидкість прокатування в п'ятій прокатній кліті дорівнює:

$$v_5 = \frac{16,02}{1,43} = 11,2 \text{ м/с.}$$

Частота обертання прокатних валків у п'ятій прокатній кліті:

$$n_5 = \frac{60 \cdot 11,2}{\pi \cdot 0,27} = 823 \text{ об/хв.}$$

					КНУ.РБ.136.26.112с-04.02.РПВСПС	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		2.13

Швидкість прокатування в четвертій прокатній кліті дорівнює:

$$v_4 = \frac{11,2}{1,33} = 8,42 \text{ м/с.}$$

Частота обертання прокатних валків у четвертій прокатній кліті:

$$n_4 = \frac{60 \cdot 8,42}{\pi \cdot 0,38} = 423,4 \text{ об/хв.}$$

Швидкість прокатування в третій прокатній кліті дорівнює:

$$v_3 = \frac{8,42}{1,28} = 6,58 \text{ м/с.}$$

Частота обертання прокатних валків у третій прокатній кліті:

$$n_3 = \frac{60 \cdot 6,85}{\pi \cdot 0,40} = 327,23 \text{ об/хв.}$$

Швидкість прокатування в другій прокатній кліті дорівнює:

$$v_2 = \frac{6,58}{1,26} = 5,22 \text{ м/с.}$$

Частота обертання прокатних валків у другій прокатній кліті:

$$n_2 = \frac{60 \cdot 5,22}{\pi \cdot 0,4} = 259,7 \text{ об/хв.}$$

Швидкість прокатування в першій прокатній кліті дорівнює:

$$v_1 = \frac{5,22}{1,26} = 4,5 \text{ м/с.}$$

Частота обертання прокатних валків у першій прокатній кліті:

$$n_1 = \frac{60 \cdot 4,5}{\pi \cdot 0,40} = 206 \text{ об/хв.}$$

Таким чином, з розрахунків видно, що при прокатуванні прямокутної смуги швидкість прокатування при проході від кліті до кліті збільшується з врахуванням коефіцієнту витяжки, частота обертання прокатних валків також збільшується через збільшення швидкості прокатування та зменшення діаметру прокатних валків. Такі чинники забезпечують постійність секундних об'ємів, що є умовою безперервності при прокатування на безперервному прокатному стані.

					КНУ.РБ.136.26.112с-04.02.РПВСПС	Аркуш
						2.14
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.4 Енергосилові параметри процесу виготовлення сталевій прямокутної смуги поперечним перерізом 60×10 мм

Для першої чорнової кліті, яка має ящиківий калібр, горизонтально розташований, температура прокатування складає 1200°C.

Прокатування в кліті відбувається зі швидкістю $v_1 = 4,25$ м/с.

Прокатний валок першої кліті має діаметр 400 мм.

Базова границя текучості матеріалу в гарячому стані дорівнює:

$$\sigma_0 = 89 \text{ МПа.}$$

Передаточне відношення редуктору дорівнює: $i = 11,4$.

Оберти двигуна складають $n_{dv} = 108,2$ об/хв.

В першій прокатній кліті відбулося абсолютне обтиснення: $\Delta h = 15,0$ мм.

В кліті відбулося відносне обтиснення, яке визначається за формулою:

$$\varepsilon_i = \frac{\Delta h_i}{h_{i-1}} \cdot 100\%, \quad (2.19)$$

де h_{i-1} – висота смуги до прокатування.

Після підстановки, отримаємо значення в першій прокатній кліті:

$$\varepsilon_1 = \frac{15}{60} \cdot 100 = 25\%.$$

Швидкість деформації в кліті визначається за формулою:

$$u_i = v_i \cdot \frac{\Delta h_i \cdot h_{i-1}}{\sqrt{R_i \cdot \Delta h_i}}. \quad (2.20)$$

Після підстановки для першої прокатної кліті, отримаємо:

$$u_1 = 4,5 \cdot \frac{0,015 \cdot 0,060}{\sqrt{0,125 \cdot 0,015}} = 0,094 \text{ с}^{-1}.$$

Визначаємо термомеханічні коефіцієнти за формулами:

- для коефіцієнту впливу температури:

$$k_t = 0,57 + 0,0045 \cdot (1200 - T) \cdot \sqrt{\frac{1200 - T}{T}} = 0,821.$$

- для коефіцієнту впливу швидкості деформації:

$$k_u = 0,84 + 0,06 \cdot \sqrt{3,2} = 0,923.$$

					КНУ.РБ.136.26.112с-04.02.РПВСПС	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		2.15

- для коефіцієнт впливу ступеню деформації:

$$k_\varepsilon = 0,84 + 0,084 \cdot \sqrt{0,22} = 1,207.$$

Визначаємо середнє значення границі текучості при гарячій обробці за формулою:

$$\sigma_t = \sigma_{0T} \cdot k_t \cdot k_u \cdot k_\varepsilon. \quad (2.21)$$

Для першої прокатної кліті середнє значення границі текучості дорівнює:

$$\sigma_t = 89,0 \cdot 0,821 \cdot 0,921 \cdot 1,207 = 81,2 \text{ МПа.}$$

Коефіцієнт тертя металу о валки в першій кліті визначається за формулою:

$$k_v = 0,4 + 0,6 \cdot (1 - 0,05 \cdot v) = 0,977; \quad (2.22)$$

$$f = 0,8 \cdot (0,62 - 0,00025 \cdot T) \cdot k_v = 0,261. \quad (2.23)$$

Після підстановки, отримаємо значення:

$$k_v = 0,977; f = 0,261.$$

Умовний коефіцієнт тертя в першій кліті:

$$f_i = f \cdot \frac{b_k + h_p}{b_k} = 0,35. \quad (2.24)$$

Довжина осередку деформації визначається за формулою:

$$l_d = \sqrt{R_d \cdot \Delta h} = 55,723 \text{ мм.} \quad (2.25)$$

При прокатуванні в першій прокатній кліті довжина осередку деформації дорівнює:

$$l_{d1} = \sqrt{200 \cdot 15} = 54,77 \text{ мм.}$$

Тоді, коефіцієнт підпору дорівнює:

Середній контактний тиск, який виникає у вертикальному напрямку визначаємо за формулою:

$$P_v = \sigma_t \cdot n_p, \quad (2.26)$$

де n_p – коефіцієнт підпору, що визначається за формулою:

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

					КНУ.РБ.136.26.112с-04.02.РПВСПС	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		2.16

І дорівнює для першої прокатної кліті: $n_p = 1,08$.

Середній контактний тиск в першій прокатній кліті у вертикальному напрямку:

$$P_v = 81,2 \cdot 1,08 = 87,7 \text{ МПа.}$$

Середній контактний тиск в першій прокатній кліті, що діє на бокову поверхню дорівнює:

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

Сила прокатування в першій робочій кліті дорівнює:

$$P = (P_v \cdot F + P_b \cdot F_b) \cdot 0,001 = 299,35 \text{ кН.}$$

Коефіцієнт плеча моменту в першій робочій кліті дорівнює:

$$\Psi = 0,78 - 0,27 \cdot \frac{l_d}{h_c} = 0,56.$$

Момент прокатування визначається за формулою:

$$M_{\text{пр}} = 2 \cdot P \cdot \Psi \cdot l_d \cdot 0,001. \quad (2.28)$$

Після підстановки, отримаємо для першої прокатної кліті:

$$M_{\text{пр}1} = 2 \cdot 299,35 \cdot 0,56 \cdot 51,77 \cdot 0,001 = 18,339 \text{ кН}\cdot\text{м.}$$

В другій прокатній кліті прокатування здійснюється в ящиковому горизонтальному калібрі горизонтально розташованому.

Температура розкату в другій прокатній кліті дорівнює: $T_2 = 1140^\circ\text{C}$;

лінійна швидкість прокатування дорівнює: $v_2 = 5,22 \text{ м/с}$;

номінальний діаметр прокатних валків дорівнює: $D = 400 \text{ мм}$.

В другій прокатній кліті відбулося обтиснення розкату:

$$\Delta h_2 = 12, \text{ мм};$$

відносне обтиснення дорівнює:

$$\varepsilon_2 = \frac{12}{45} \cdot 100 = 26,67\%;$$

в другій прокатній кліті відбулася деформація металу зі швидкістю:

$$u_2 = 5,22 \cdot \frac{0,012 \cdot 0,045}{\sqrt{0,200 \cdot 0,012}} = 0,072 \text{ с}^{-1}.$$

					КНУ.РБ.136.26.112с-04.02.РПВСПС	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		2.17

Термомеханічні коефіцієнти при прокатуванні в другій робочій кліті дорівнюють:

$$k_t = 0,84; k_u = 0,955; k_\varepsilon = 1,255.$$

Середнє значення границі текучості в другій прокатній кліті дорівнює:

$$\sigma_{t2} = 81,2 \cdot 0,84 \cdot 0,945 \cdot 1,245 = 81,7 \text{ МПа.}$$

Довжина дуги контакту прокатного валку з оброблюваним матеріалом в другій робочій кліті дорівнює:

$$l_{d2} = \sqrt{200 \cdot 12} = 49,0 \text{ мм}$$

Середня висота розкату в другій прокатній кліті дорівнює:

$$h_c = 0,5 \cdot (45,0 + 33,0) = 39 \text{ мм;}$$

Коефіцієнт підпору при прокатуванні в другій прокатній кліті дорівнює:

$$n_p = 1,2.$$

Коефіцієнт тертя в другій прокатній кліті дорівнює:

$$f_c = 0,354.$$

Вертикальний середній контактний тиск в другій прокатній кліті дорівнює:

$$P_{v2} = 81,7 \cdot 1,2 = 98,04 \text{ МПа.}$$

Контактний тиск на бічну поверхню в другій кліті дорівнює:

$$P_{b2} = 42,622 \text{ МПа.}$$

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

$$P_2 = 263,08 \text{ кН.}$$

Коефіцієнт плеча моменту другої прокатної кліті:

$$\Psi_2 = 0,5.$$

Момент прокатування для другої робочої кліті:

$$M_{пр2} = 2 \cdot 263,08 \cdot 0,5 \cdot 49,9 \cdot 0,001 = 13,128 \text{ кН}\cdot\text{м.}$$

Третя прокатна кліть має ящикову форму, горизонтально розташована. Перед кліттю здійснюється кантування розкату на 90° .

В третій прокатній кліті температура прокатування дорівнює:

$$T_3 = 1100^\circ\text{C};$$

					КНУ.РБ.136.26.112с-04.02.РПВСПС	Аркуш
						2.18
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

швидкість прокатування складає: $v_3 = 6,58$ м/с;

абсолютне обтиснення дорівнює: $\Delta h_3 = 16$ мм.

відносне обтиснення дорівнює:

$$\varepsilon_3 = \frac{16}{33} \cdot 100 = 48,49\%.$$

Швидкість деформації при прокатуванні в третій прокатній кліті:

$$u_3 = 6,58 \cdot \frac{0,016 \cdot 0,033}{\sqrt{0,200 \cdot 0,016}} = 0,099 \text{ 1/с.}$$

Довжина дуги контакту прокатного валку з оброблюваним матеріалом в третій робочій кліті дорівнює:

$$l_{d3} = \sqrt{200 \cdot 16} = 56,57 \text{ мм} = 0,056 \text{ м.}$$

Границя течії металу з врахуванням термомеханічних коефіцієнтів для третьої кліті дорівнює:

$$\sigma_{t3} = 82,9 \text{ МПа.}$$

Сила, що діє на валок в третій кліті дорівнює:

$$P_3 = 321,52 \text{ кН.}$$

Коефіцієнт плеча моменту, що виникає при прокатуванні в третій кліті дорівнює:

$$\Psi = 0,499.$$

Момент прокатування для третьої робочої кліті:

$$M_{пр3} = 2 \cdot 321,52 \cdot 0,499 \cdot 56,67 \cdot 0,001 = 18,541 \text{ кН}\cdot\text{м.}$$

В четвертій прокатній кліті відбувається прокатування в гладких прокатних валках.

В четвертій прокатній кліті температура прокатування дорівнює:

$$T_4 = 1060^\circ\text{C};$$

лінійній швидкості $v_4 = 8,27$ м/с;

діаметрі прокатних валків $D_4 = 380$ мм.

В четвертій прокатній кліті відбулося абсолютне обтиснення смуги:

$$\Delta h_4 = 7,6 \text{ мм.}$$

					КНУ.РБ.136.26.112с-04.02.РПВСПС	Аркуш
						2.19
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Відносне обтиснення в четвертій прокатній кліті дорівнює:

$$\varepsilon_4 = \frac{7,6}{52,7} \cdot 100 = 14,1\%;$$

Швидкість деформації при прокатуванні в четвертій прокатній кліті:

$$u_4 = 6,58 \cdot \frac{0,0076 \cdot 0,0527}{\sqrt{0,190 \cdot 0,0076}} = 0,099 \text{ 1/с.}$$

Довжина дуги контакту прокатного валку з оброблюваним матеріалом в четвертій робочій кліті дорівнює:

$$l_{d4} = \sqrt{190 \cdot 7,6} = 38,0 \text{ мм} = 0,038 \text{ м.}$$

Границя течії металу з врахуванням термомеханічних коефіцієнтів для четвертій кліті дорівнює:

$$\sigma_{t4} = 83,5 \text{ МПа.}$$

Сила, що діє на валок в четвертій кліті дорівнює:

$$P_3 = 285,5 \text{ кН.}$$

Коефіцієнт плеча моменту, що виникає при прокатуванні в четвертій кліті дорівнює:

$$\Psi_4 = 0,48.$$

Момент прокатування для третьої робочої кліті:

$$M_{пр4} = 2 \cdot 285,5 \cdot 0,48 \cdot 38,0 \cdot 0,001 = 10415 \text{ кН} \cdot \text{м.}$$

В п'ятій кліті відбувається прокатування в напівчистовому гладкому калібрі.

Температура прокатування дорівнює: $T_5 = 1040^\circ\text{C}$.

Швидкість прокатування складає: $v_5 = 11,2 \text{ м/с}$;

абсолютне обтиснення дорівнює: $\Delta h_5 = 10,3 \text{ мм}$

відносне обтиснення дорівнює:

$$\varepsilon_5 = \frac{10,3}{28,5} \cdot 100 = 37,9\%.$$

Швидкість деформації при прокатуванні в п'ятій прокатній кліті:

$$u_5 = 11,2 \cdot \frac{0,0103 \cdot 0,285}{\sqrt{0,135 \cdot 0,0103}} = 0,88 \text{ 1/с.}$$

					КНУ.РБ.136.26.112с-04.02.РПВСПС	Аркуш
						2.20
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Довжина дуги контакту прокатного валку з оброблюваним матеріалом в п'ятій робочій кліті дорівнює:

$$l_{d5} = \sqrt{135 \cdot 10,3} = 37,28 \text{ мм} = 0,0373 \text{ м.}$$

Границя течії металу з врахуванням термомеханічних коефіцієнтів для п'ятої кліті дорівнює:

$$\sigma_{t3} = 84,1 \text{ МПа.}$$

Сила, що діє на валок в п'ятій кліті дорівнює:

$$P_5 = 205,8 \text{ кН.}$$

Коефіцієнт плеча моменту, що виникає при прокатуванні в п'ятій кліті дорівнює: $\Psi = 0,488$.

Момент прокатування для п'ятої робочої кліті:

$$M_{пр5} = 2 \cdot 205,8 \cdot 0,488 \cdot 37,28 \cdot 0,001 = 2,157 \text{ кН}\cdot\text{м.}$$

Шоста робоча кліть має гладкі прокатні валки.

Температура прокатування в кліті дорівнює: $T = 1010^\circ\text{C}$;

швидкість прокатування складає: $v_6 = 16,02 \text{ м/с}$;

абсолютне обтиснення дорівнює: $\Delta h_6 = 6,3 \text{ мм}$.

відносне обтиснення дорівнює:

$$\varepsilon_6 = \frac{6,3}{18,0} \cdot 100 = 35,0\%.$$

Швидкість деформації при прокатуванні в шостій прокатній кліті:

$$u_6 = 16,02 \cdot \frac{0,063 \cdot 0,018}{\sqrt{0,135 \cdot 0,0063}} = 0,71 \text{ 1/с.}$$

Довжина дуги контакту прокатного валку з оброблюваним матеріалом в шостій робочій кліті дорівнює:

$$l_{d6} = \sqrt{135 \cdot 6,3} = 29,16 \text{ мм} = 0,029 \text{ м.}$$

Границя течії металу з врахуванням термомеханічних коефіцієнтів для шостої кліті дорівнює:

$$\sigma_{t6} = 85,8 \text{ МПа.}$$

Сила, що діє на валок в шостій кліті дорівнює:

$$P_6 = 228,5 \text{ кН.}$$

					КНУ.РБ.136.26.112с-04.02.РПВСПС	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		2.21

Коефіцієнт плеча моменту, що виникає при прокатуванні в шостій кліті дорівнює: $\Psi = 0,45$.

Момент прокатування для шостої робочої кліті:

$$M_{\text{пр}_6} = 2 \cdot 228,5 \cdot 0,45 \cdot 29,16 \cdot 0,001 = 5,998 \text{ кН}\cdot\text{м}.$$

В сьомій робочій кліті здійснюється прокатування у ребровому калібрі для вирівнювання бокових сторін смуги.

Температура прокатування в кліті дорівнює: $T_7 = 930^\circ\text{C}$;

швидкість прокатування складає: $v_7 = 16,67 \text{ м/с}$;

абсолютне обтиснення дорівнює: $\Delta h_7 = 6,25 \text{ мм}$.

відносне обтиснення дорівнює:

$$\varepsilon_7 = \frac{6,25}{57,28} \cdot 100 = 10,8\%.$$

Швидкість деформації при прокатуванні в сьомій прокатній кліті:

$$u_7 = 16,67 \cdot \frac{0,0625 \cdot 0,057,28}{\sqrt{0,125 \cdot 0,00625}} = 0,54 \text{ 1/с}.$$

Довжина дуги контакту прокатного валку з оброблюваним матеріалом в сьомій робочій кліті дорівнює:

$$l_{d7} = \sqrt{125 \cdot 6,25} = 27,95 \text{ мм} = 0,028 \text{ м}.$$

Границя течії металу з врахуванням термомеханічних коефіцієнтів для сьомої кліті дорівнює:

$$\sigma_{t7} = 86,9 \text{ МПа}.$$

Сила, що діє на валок в сьомій кліті дорівнює:

$$P_7 = 219,5 \text{ кН}.$$

Коефіцієнт плеча моменту, що виникає при прокатуванні в сьомій кліті дорівнює: $\Psi = 0,5$.

Момент прокатування для сьомої робочої кліті:

$$M_{\text{пр}_7} = 2 \cdot 219,5 \cdot 0,5 \cdot 27,95 \cdot 0,001 = 6,135 \text{ кН}\cdot\text{м}.$$

Останній прохід виконуємо у восьмій кліті з гладкими валками, розташованими горизонтально.

					КНУ.РБ.136.26.112с-04.02.РПВСПС	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		2.22

Температура прокатування в кліті дорівнює: $T = 930^{\circ}\text{C}$;

швидкість прокатування складає: $v_8 = 20 \text{ м/с}$;

абсолютне обтиснення дорівнює: $\Delta h_8 = 2,51 \text{ мм}$.

відносне обтиснення дорівнює:

$$\varepsilon_8 = \frac{2,51}{12,5} \cdot 100 = 20,1\%.$$

Швидкість деформації при прокатуванні в восьмій прокатній кліті:

$$u_8 = 20 \cdot \frac{0,025 \cdot 0,0125}{\sqrt{0,125 \cdot 0,0025}} = 0,099 \text{ 1/с}.$$

Довжина дуги контакту прокатного валку з оброблюваним матеріалом в восьмій робочій кліті дорівнює:

$$l_{d8} = \sqrt{125 \cdot 2,5} = 17,68 \text{ мм} = 0,0177 \text{ м}.$$

Границя течії металу з врахуванням термомеханічних коефіцієнтів для восьмої кліті дорівнює: $\sigma_{t8} = 91,1 \text{ МПа}$.

Сила, що діє на валок в восьмій кліті дорівнює:

$$P_8 = 199,8 \text{ кН}.$$

Коефіцієнт плеча моменту, що виникає при прокатуванні в восьмої кліті дорівнює: $\Psi = 0,45$.

Момент прокатування для восьмої робочої кліті:

$$M_{пр6} = 2 \cdot 199,8 \cdot 0,45 \cdot 17,68 \cdot 0,001 = 5,998 \text{ кН}\cdot\text{м}.$$

Усі розраховані параметри вносимо в таблицю 2.2.

З таблиці видно, що при прокатуванні при проході від чорнових до чистової кліті швидкість прокатки і частота обертання прокатних валків збільшуються, температура прокатки зменшується через охолодження матеріалу під час обробки, довжина осередку деформації зменшується через зменшення діаметру прокатних валків, сила прокатування та момент має тенденцію до зменшення.

					КНУ.РБ.136.26.112с-04.02.РПВСПС	Аркуш
						2.23
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.2 – Результати розрахунку витрат енергії при прокатуванні смуги прямокутного поперечного перерізу розмірами 60×10

№ проходу	D_6 , мм	ε , %	v , м/с	n , об/хв	T , °C	σ_{iT}	l_d , мм	P , кН	M , кН·м
1	400	25,0	4,5	206,0	1180	81,2	51,77	299,35	18,339
2	400	26,6	5,22	259,6	1140	81,7	49,0	263,08	13,125
3	400	48,49	6,58	327,2	1100	82,9	56,57	321,52	18,154
4	380	14,1	8,27	423,4	1070	83,5	38,0	285,5	10,415
5	270	39,7	11,2	823,0	1040	84,1	27,28	205,8	7,365
6	270	35,0	16,02	1224,5	1010	85,8	29,16	228,5	5,998
7	250	10,8	16,67	1273,9	980	86,9	27,95	219,6	6,135
8	250	20,1	20	1528,7	950	91,1	17,68	199,8	3,175

					КНУ.РБ.136.26.112с-04.02.РПВСПС	Аркуш
						2.24
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВОК

При виконанні кваліфікаційної роботи було досягнена її мета та вирішення задачі.

Вивчено призначення прямокутної сталі 60×10 мм, визначено матеріал для її виготовлення, де перевага надана вуглецевої сталі марки Сталь 35. Було визначено її склад та властивості.

Проаналізовано способи виготовлення прямокутної смуги перерізом 60×10 мм і надано перевагу гарячому прокатуванні на безперервному дрібносортовому прокатному стані ДС-250 через його високу продуктивність.

В якості початкового матеріалу обрано безперервно-литу заготовку розмірами 60×60 мм, яка отримана на машині безперервної розливки сталі криволінійного типу, що дозволяє отримати якісний матеріал та виконати мінімальну кількість проходів при прокатуванні.

Розраховано калібрування та визначено режими обтиснення, які дозволяють отримати точні розміри прямокутної смуги за мінімальну кількість проходів.

Досліджено швидкісні умови прокатування, де визначено, що швидкість при проході від кліті до кліті збільшується. Визначено сили та моменти прокатування, що дозволило оцінити витрати енергії на процес.

					КНУ.РБ.136.26.112с-04.В		
Вим.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата	ВИСНОВКИ Кафедра МЧМЛВ гр. МТ-23-1ск		
Розробив	Гут						
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. Василев Я.Д., Мінаєв О.А. Теорія поздовжньої прокатки: підручник. Донецьк: УНІТЕХ, 2009. 488 с.
3. ВД «Академперіодика» НАН України. Приклади оформлення використаних джерел відповідно до Національного стандарту України ДСТУ 8302:2015. Бібліографічне посилання. Загальні положення та правила складання. Київ, 2016. 16 с. (Інформація та документація).
4. ДСТУ 8302:2015. Інформація та документація. Бібліографічне посилання. Загальні положення та правила складання. Чинний від 2016-07-01. Вид. офіц. Київ: УкрНДНЦ, 2016. 16 с.
5. ДСТУ 3008:2015. Інформація та документація. Звіти у сфері науки і техніки. Структура та правила оформлювання. Київ: УкрНДНЦ, 2016. 31 с.
6. Бережний М.М., Чубенко В.А. Основи проектування технологічних ліній та комплексів металургійних цехів: монографія. Кривий Ріг: Видавничий дім, 2010. 404 с.
7. Данченко В.М., Гринкевич В.О., Головка О.М. Теорія процесів обробки металів тиском: підручник. Дніпропетровськ: Пороги, 2008. 372 с.
8. Чубенко В.А., Хіноцька А.А. Технологія процесів обробки металів тиском: навчальний посібник. Кривий Ріг: Видавець Чернявський Д.О., 2020. 208 с.
9. 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.

					КНУ.РБ.136.26.112с-04.Л					
Вим.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата	ЛІТЕРАТУРА					
Розробив	Гут							Літ.	Аркуш	Аркушів
Перевірив	Чубенко								1	3
Рецензент								Кафедра МЧМЛВ гр. МТ-23-1ск		
Н. контр.	Чубенко									
Затвердив	Бабошко									

10. 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.

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

12. 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.

13. 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.

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

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

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

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

18. Вплив технологічних параметрів розливання і кристалізації сталі на якісні показники безперервнолитої заготовки / Е. В. Парусов та ін. *Наукові праці ВНТУ*. Кривий ріг, 2016. № 2. С. 1-8.

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

					КНУ.РБ.136.26.112с-04.Л	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		2

20. Серода Б. П. Прокатне виробництво: навч. посіб. Запоріжжя: ЗДІА, 2009. 344 с.

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

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

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

24. 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.

25. Серода 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.

					КНУ.РБ.136.26.112с-04.Л	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		3