

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

КАФЕДРА МЕТАЛУРГІЇ ЧОРНИХ МЕТАЛІВ І ЛИВАРНОГО ВИРОБНИЦТВА

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

**Тема роботи: «РОЗРОБКА ПРОЦЕСУ СУМІЩЕННЯ ЛИТТЯ-
ПРОКАТУВАННЯ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ КРУГА ДІАМЕТРОМ 80 мм»**

Виконав:
студент групи МТ-23-1ск _____ Даніїл СУХОТІН

Керівник випускної роботи _____ Вікторія ЧУБЕНКО

Нормоконтролер _____ Вікторія ЧУБЕНКО

Т.в.о. завідувача кафедри _____ Дмитро БАБОШКО

Кривий Ріг
2026 р.

КРИВОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет: гірничо-металургійний

Кафедра металургії чорних металів і ливарного виробництва

Освітньо-кваліфікаційний рівень: бакалавр

Спеціальність: 136 Металургія

Затверджую

Зав. кафедрою _____

« ____ » _____ 2026 р.

ЗАВДАННЯ

на випускню атестаційну роботу бакалавра

_____ **Сухотін Данііл Русланович** _____

1. Тема роботи: _____ Розробка процесу суміщення лиття-прокатування для виготовлення круга діаметром 80 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: криволінійна машина для безперервної розливки сталі; ливарно-прокатний агрегат; вуглецева Сталь 20; чавун марки СЧ15; діаметр валків 500 мм; матеріалу квадратної форми з площею поперечного перерізу 100×100 мм.

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

1. Загальна характеристика, призначення та способи отримання профілю діаметром 80 мм. Характеристика процесу суміщення лиття-прокатування. Характеристика процесу безперервної розливки сталі та калібрування.

2. Розробка технології суміщення лиття-прокатування для отримання вірного профілю круглого поперечного перерізу розміром 80 мм: технологічні операції, швидкісні умови прокатування, обладнання, розрахунок зусилля прокатування.

5. Перелік графічного матеріалу

Загальний вигляд кругів діаметром 80 мм. Агрегат CSP прямої прокатки смуги. Загальний вигляд машини безперервного лиття заготовок. Будова машини безперервної розливки. Послідовність технологічних операцій. Компонування ливарно-прокатного модуля. Калібрування прокатних валків. калібрування прокатних валків та режимів обтиснення. Результати розрахунку швидкісних та силових параметрів.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Номер етапу	Назва етапів виконання бакалаврської роботи	Термін виконання етапів
1	Збір і обробка необхідного матеріалу для виконання кваліфікаційної роботи	19.01-27.01.2026
2	Аналіз літературних джерел та постановка завдання дослідження	28.01-08.02.2026
3	Загальна характеристика та застосування круглого профілю: класифікація, матеріал для виготовлення, призначення	09.02-25.02.2026
4	Способи виготовлення круглого профілю; прокатування профілю; калібрування; характеристика процесу	26.02-10.03.2026
5	Розробка технології суміщення лиття-прокатування для отримання вірного профілю круглого поперечного перерізу розміром 80 мм.	11.03-10.04.2026
6	Послідовність технологічних операцій, обладнання, калібрування прокатних валків.	11.04-30.04.2026
7	Розрахунок зусилля прокатування, швидкісні умови процесу суміщення-прокатування	01.05-20.05.2026
8	Оформлення роботи та креслення	21.05-31.05.2026
9	Перевірка роботи на плагіат	01.06-15.06.2026
10	Захист кваліфікаційної роботи	23.06.2026

Дата видачі завдання «__19__»_____02_____2026 р.

Здобувач вищої освіти _____ Данііл СУХОТІН
(підпис)

Керівник випускної кваліфікаційної роботи _____ Вікторія ЧУБЕНКО
(підпис)

РЕФЕРАТ

до випускної кваліфікаційної роботи на тему:
«Розробка процесу суміщення лиття-прокатування для виготовлення круга
діаметром 80 мм»

Пояснювальна записка: 57 стор., 2 табл., 17 рис., 21 джерело.

Об'єкт дослідження: процеси суміщення лиття-прокатування.

Предмет дослідження: технологія суміщення лиття-прокатування для виготовлення круга діаметром 80 мм.

Мета роботи: розробити технологію суміщення лиття-прокатування для виготовлення круга діаметром 80 мм.

Методи дослідження: робота базується на теоретичних методах дослідження безперервної розливки сталі, закономірності її кристалізації, на теорії прокатного виробництва; використовувалися розрахункові методи для визначення калібрування прокатних валків, швидкості та зусилля прокатування.

Результати роботи: досліджено призначення круглого профілю, що має діаметр поперечного перерізу 80 мм та визначено матеріал для його виготовлення, де надано перевагу низьковуглецевій сталі марки Сталь 20; досліджено способи та обладнання безперервної розливки сталі та надано перевагу розливці в машині безперервної розливки криволінійного типу; запропоновано в одну лінію з машиною безперервної розливки встановити чотири прокатні кліті для одержання вірного профілю; виконано розрахунки калібрувань валків, швидкості обробки, сили прокатування.

ПРОМІЖНИЙ КІВШ, КРИСТАЛІЗАЦІЯ, КАЛІБРУВАННЯ,
НИЗЬКОВУГЛЕЦЕВА СТАЛЬ, ОБТИСНЕННЯ МЕТАЛУ

					КНУ.РБ.136.26.112с-13.Р						
Вим.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата							
Розробив		Сухотін			РЕФЕРАТ			Літ.	Аркуш	Аркушів	
Перевірив		Чубенко								1	1
Рецензент								Кафедра МЧМЛВ гр. МТ-23-1ск			
Н. контр.		Чубенко									
Затвердив		Бабошко									

ЗМІСТ

	Стор.
РЕФЕРАТ.....	4
ВІДОМІСТЬ МАТЕРІАЛІВ.....	5
ВСТУП.....	7
1 ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА, ПРИЗНАЧЕННЯ ТА СПОСОБИ ОТРИМАННЯ КРУГЛОГО ПРОФІЛЮ ДІАМЕТРОМ 80 мм.....	9
1.1 Призначення та матеріал круга діаметром 80 мм	9
1.2 Загальна характеристика процесу суміщення лиття-прокатування	11
1.3 Характеристика процесу безперервної розливки сталі	12
1.4 Загальна характеристика прокатування та калібрування	25
2 РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ СУМІЩЕННЯ ЛИТТЯ-ПРОКАТУВАННЯ ДЛЯ ОТРИМАННЯ ВІРНОГО ПРОФІЛЮ КРУГЛОГО ПОПЕРЕЧНОГО ПЕРЕРІЗУ РОЗМІРОМ 80 мм	35
2.1 Послідовність технологічних операцій з виготовлення круглого профілю діаметром 80 мм суміщенням процесів лиття-прокатування	35
2.2 Обладнання для здійснення лиття-прокатування виробу круглого поперечного перерізу діаметром 80 мм	36
2.3 Калібрування прокатних валків для отримання виробу круглого поперечного перерізу 80 мм	37
2.4 Швидкісні умови процесу суміщення лиття-прокатування	47
2.5 Розрахунок зусилля прокатування	48
ВИСНОВКИ	54
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	55

					КНУ.РБ.136.26.112с-13.3			
Вим.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата	ЗМІСТ			
Розробив	Сухотін							
Перевірив	Чубенко							
Рецензент								
Н. контр.	Чубенко							
Затвердив	Бабошко				Літ. Аркуш Аркушів			
							1	1
					Кафедра МЧМЛВ гр. МТ-23-1ск			

ВСТУП

Вироби круглого поперечного перерізу, що має діаметр 80 мм широко використовується в багатьох галузях народного господарства: в будівництві, машинобудуванні, верстатобудування, сільському господарстві тощо. Такий матеріал може використовуватися як готова продукція в якості арматури в будівництві, для побудови перекрить, для встановлення опор тощо, так і, як напівфабрикат, що йде на подальшу обробку і використовуватися як заготовки для виробництва безшовних труб, втулок, ступінчастих валів тощо.

До таких виробів ставлять високі вимоги до міцності, стійкості. Постійно збільшується потреба в таких виробах, що потребує підвищення продуктивності їх виготовлення при збільшенні міцності та стійкості.

Існують високошвидкісні прокатні стани, що дозволяють збільшити продуктивність обробки прокату поперечним перерізом 80 мм, але вони є високовартісними, що призводить до удорожчання продукції.

Використання процесів суміщення лиття-прокатування дозволяє зменшити кількість дороговартісного обладнання, що використовується в цеху, кількість операцій для виготовлення виробу, а регульована кристалізація металу дозволить отримати більш якісні вироби. Все це веде до збільшення продуктивності обробки при покращенні якості виробів. Тому розроблення технології отримання круглого профілю діаметром 80 мм є актуальним завданням. Така технологія дозволить покращити якість внутрішньої структури металовиробів через направлену кристалізацію у відповідному устаткуванні машини безперервного лиття заготовок, зменшить кількість браку.

Така технологія дозволяє зменшити кількість прокатного та нагрівального обладнання, що забезпечує зменшення виробничих площин у цеху та дозволяє

					КНУ.РБ.136.26.112с-13.ВС			
Вим.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата	ВСТУП	Літ.	Аркуш	Аркушів
Розробив	Сухотін						1	2
Перевірив	Чубенко					Кафедра МЧМЛВ гр. МТ-23-1ск		
Рецензент								
Н. контр.	Чубенко							
Затвердив	Бабошко							

усунути виконання зайвих операцій, що зменшує час обробки та збільшує продуктивність процесу.

Мета роботи зосереджена у розробці сучасної технології суміщення лиття-прокатування для виготовлення круга діаметром 80 мм

Для досягнення мети потрібно вирішити наступні задачі:

- проаналізувати призначення круглого прокату, що має діаметр поперечного перерізу 80 мм та визначити матеріал для його виготовлення, який має потрібну міцність;
- дослідити способи виготовлення безперервно-ливої заготовки для отримання круглого профілю діаметром 80 мм та визначити раціональне обладнання для його здійснення;
- встановити потрібний розмір безперервно-ливої заготовки;
- дослідити спосіб суміщення лиття-прокатування для отримання потрібного профілю;
- встановити послідовність операцій з лиття-прокатування круглого профілю діаметром 80 мм;
- визначити склад та будову обладнання для прокатування безперервно-ливої заготовки;
- розрахувати калібрування прокатних валків для отримання вірного профілю за мінімальну кількість проходів;
- визначити коефіцієнти та параметри деформації при прокатуванні круглого профілю діаметром 80 мм;
- дослідити швидкісні умови обробки в робочих клітках та силові параметри прокатування.

Вирішення таких задач дозволить отримати виріб круглого поперечного перерізу діаметром 80 мм при мінімальних витратах на виробництво.

					КНУ.РБ.136.26.112с-13.ВС	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		2

1 ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА, ПРИЗНАЧЕННЯ ТА СПОСОБИ ОТРИМАННЯ КРУГЛОГО ПРОФІЛЮ ДІАМЕТРОМ 80 мм

1.1 Призначення та матеріал круга діаметром 80 мм

Круг діаметром 80 мм – це гарячекатаний або калібрований металопродукт, що використовується як заготовка універсального призначення в різних галузях промисловості: у машинобудуванні, верстатобудуванні, будівництві, в інструментальній, харчовій та хімічній промисловості тощо.

В машинобудуванні та верстатобудуванні з круга, що має діаметр 80 мм виготовляють високоміцні вироби, які витримують великі навантаження. До таких виробів відносять осі, вали, шпинделі тощо.

В інструментальній промисловості круги виготовляють з інструментальних сталей і використовують для виготовлення штамсів, пуансонів та матриць, свердел та різаків.

В будівництві круг діаметром 80 мм використовують для виготовлення колонної арматури, для отримання опор та кріплень, для створення елементів зміцнення залізобетонних конструкцій, для спорудження різних каркасів, огорож тощо.

В харчовій та хімічній промисловості використовують круги з корозійностійких матеріалів.

Загальний вигляд круга діаметром 80 мм показано на рис. 1.1.

До такого круга пред'являють певні вимоги: високу міцність та надійність, високу стійкість до механічних навантажень.

					КНУ.РБ.136.26.112с-13.01.3ХПСОКП			
Вим.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата	ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА, ПРИЗНАЧЕННЯ ТА СПОСОБИ ОТРИМАННЯ КРУГЛОГО ПРОФІЛЮ	Літ.	Аркуш	Аркушів
Розробив	Сухотін						1.1	26
Перевірив	Чубенко					Кафедра МЧМЛВ гр. МТ-23-1ск		
Рецензент								
Н. контр.	Чубенко							
Затвердив	Бабошко							



Рисунок 1.1 – Загальний вигляд кругів діаметром 80 мм

В роботі будемо досліджувати процес виготовлення круга діаметром 80 мм для машинобудівної промисловості. Матеріал такого виробу – якісна вуглецева сталь марки Сталь 20. Це конструкційна вуглецева сталі, яка містить вуглецю в межах 0,17 – 0,24 %, марганцю 0,35 – 0,65 %, кремнію 0,17 – 0,37 %. Вона має високу пластичність, не має схильності до відпускнуї крихкості та флокеночутливості. Добре піддається пластичній деформації та обробці різанням на металорізальних верстатах. Широко використовують для виготовлення валів, які працюють при температурах від - 40°C до 400°C. Границя міцності знаходиться в межах 390 – 420 МПа.

					КНУ.РБ.136.26.112с-13.01.ЗХПСОКП	Аркуш
						1.2
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.2 Загальна характеристика процесу суміщення лиття-прокатування

Суміщення процесу лиття-прокатування – це сучасна технологія металургійного виробництва, яка об'єднує два технологічних процесу: безперервну розливку металевих матеріалів та їх пластичну деформацію в один технологічний цикл, який є безперервним. В результаті такого суміщення є можливість отримати готові вироби: листи, стрічки, заготовки будь якого поперечного перерізу, сортовий прокат тощо. Така технологія має суттєві переваги через те, що існує можливість знизити енергетичні витрати на процес отримання виробів, зменшити собівартість готової продукції, збільшити продуктивність процесу та покращити внутрішню структуру металевих виробів.

Процес суміщення лиття-прокатування має свої переваги та особливості до яких відносять:

- Енергоефективність, яка полягає у тому, що гаряче обтиснення засновано на використанні теплоти кристалізації рідкого металу. Це явище усуває потребу в нагріванні початкових матеріалів перед гарячим прокатуванням.
- Процес є безперервним, що скорочує виробничий цикл, а це в свою чергу, дозволяє збільшити продуктивність виробництва.
- Покращується якість внутрішньої будови металевих сплавів через зменшення ступеню окислення металевих матеріалів, зниження кількості внутрішніх пор та тріщин, отримання більш дрібного зерна, покращуються фізико-механічні властивості виробів.
- В якості обладнання використовують спеціальні ливарно-прокатні агрегати, які дозволяють уникнути важкого обтискного обладнання.

Технологія суміщення лиття-прокатування є основною при створенні металургійних міні заводів, де відбувається виготовлення різних металовиробів при зменшенні витрат на їх виробництво.

					КНУ.РБ.136.26.112с-13.01.ЗХПСОКП	Аркуш
						1.3
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Такі технології мають високу ефективність та впроваджуються у світову практику. Наприклад, фірмою «Schloemann Siemag» розроблено технологію Compact Strip Production» – «Компактне виробництво смуги», що успішно впроваджується по всьому світу (рис. 1.2) [1].

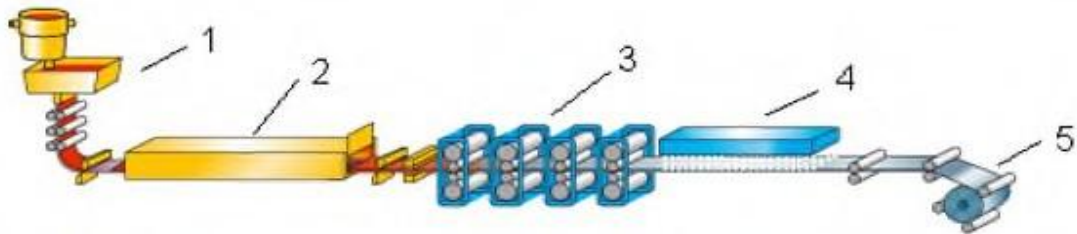


Рисунок 1.2 – Агрегат CSP прямої прокатки смуги: 1 – машина безперервної розливки; 2 – піч; 3 – прокатні кліті; 4 – ділянка охолодження; 5 – моталки

1.3 Характеристика процесу безперервної розливки сталі

Безперервна розливка сталі дозволяє отримати металовироби з рідкого металу або металевому сплаву. Такий технологічний процес відбувається безперервно по мірі надходження рідкого металевому матеріалу з проміжного ківшу до кристалізатору з одного боку, а з протилежного боку видалення з кристалізатору частково затверділого матеріалу. Здійснюється безперервна розливка на спеціальному обладнанні, що мають назву – машини безперервної розливки, або машини безперервного лиття заготовок (МБЛЗ). Загальний вигляд машини безперервної розливки показано на рис. 1.3, де показано як рідкий матеріал з розливного ківшу надходить до проміжного, з якого поступає до кристалізатору, де і відбувається затвердіння рідкого матеріалу, який витягується з кристалізатора за допомогою роликів і поступово повністю твердіє.

Безперервна розливка металу та сплавів представляє собою технологічний процес, в результаті здійснення якого відбувається перехід матеріалів з рідкого

					КНУ.РБ.136.26.112с-13.01.ЗХПСОКП	Аркуш
						1.4
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

в твердий агрегатний стан. При цьому процесі одночасно з кристалізацією виробу, йому надається певна геометрична форма та розміри. Така технологія дозволяє отримати більш якісний матеріал в порівнянні з виробами, що отримані з дискретно-литого злитку, через те, що в безперервно-литому злитку утворюється більш якісна однорідна дрібнозерниста структура, у якій, практично відсутні неметалеві включення, внутрішні пори, тріщини, раковини. Таким чином відбувається збільшення виходу придатного матеріалу в порівнянні з традиційною технологією розливання металу та сплаву в дискретні зливки. Але якість внутрішньої поверхні безперервно-литого металовиробу цілком залежить від умов охолодження та кристалізації матеріалу, від напрямку та швидкості відведення теплоти від зони кристалізації.



Рисунок 1.3 – Загальний вигляд машини безперервного лиття заготовок

					КНУ.РБ.136.26.112с-13.01.ЗХПСОКП	Аркуш
						1.5
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

При надходженні рідкого матеріалу до кристалізатора відбувається його інтенсивне охолодження через те, що цей пристрій виготовляють з матеріалу, який має високу теплопровідність, наприклад, латунь або мідь, а також відбувається інтенсивне його охолодження ззовні водою.

Використання процесу безперервної розливки сталі та сплавів у сталеплавильному виробництві має суттєві переваги через те, що така технологія сприяє економії капіталовкладень у виробництво металовиробів. Така технологія дозволяє виключити витрати на виливниці, що використовують при дискретній розливки матеріалів, економить кошти на їх обслуговування та ремонт, відпадає необхідність у встановленні цеху з підготовки вагонів для транспортування виливків, відпадає потреба у стриперному відділенні цеху, необхідність у енерговитратних обтискних та заготівельних прокатних станах, забезпечує в матеріалах при розливанні сталі, виникає економія металу та сплаву на обрізі, спостерігається економія електричної енергії, яка витрачається на підігрівання дискретних зливків перед гарячим прокатуванням на безперервно-заготівельному прокатному стані.

Також ця технологія має переваги в екологічному плані через те, що суттєво зменшується екологічне забруднення атмосфери, дозволяє уникнути шкідливих викидів, що існують при розливці сталі у дискретні виливниці, створюють більш безпечні умови праці, створює можливість механізації та автоматизації як усього технологічного процесу, так і окремих операцій.

Машина безперервної розливки сталі (МБРС) – є сучасним технологічним агрегатом, яка забезпечує отримання якісних металовиробів за рахунок того, що існує захист металів та сплавів від вторинного окислення за рахунок використання якісних вогнетривів.

В цьому устаткуванні забезпечуються оптимальні величин коливання руху металу та існує можливість автоматично підтримувати потрібний рівень рідкого металу та сплаву, що надходить до кристалізатора.

					КНУ.РБ.136.26.112с-13.01.ЗХПСОКП	Аркуш
						1.6
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Технологічний процес безперервної розливки полягає у тому, що рідкий метал або металевий сплав у розливному ківші надходить до машини безперервної розливки. Встановлюється над проміжним ківшом, який підготовлений і підігрітий до робочої температури та знаходиться у робочому положенні. Після цього рідкий матеріал заливається у проміжний ківш. Коли метал заповнює проміжний ківш до визначеної межі, яка визначається рівнем металевого сплаву, відкривається затвор і матеріал надходить до кристалізатору, який інтенсивне охолоджується водою. Перед початком розливки даний кристалізатор також проходить попередню підготовку, яка полягає у тому, що в його середину вводиться спеціальний пристрій, який має замкове захоплення. Такий пристрій прикріплюється до днища кристалізатору для підтримки першої порції металу. Цей пристрій має назву запал. Після того, як відбулося затвердіння матеріалу, запал витягається з кристалізатору разом з закристалізованим матеріалом, після чого він видаляється. В результаті такої кристалізації утворюється визначена зовнішня поверхня затверділого виробу. Через те, що надходження рідкого металу або сплаву здійснюється постійно, затверділий матеріал постійно нарощується. Таким чином існує можливість отримати металовироби нескінченної довжини, що дозволяє зменшити витрати металу на обріз кінців зливків. Як і при дискретній розливці сталі можуть досягати 15 – 20 %.

Кристалізація в першу чергу відбувається тільки ззовні металевого сплаву, а серцевина при цьому може залишатися деякий час в'язкою. Середина безперервно-литого виробу в кристалічний стан переходить більш повільно, в порівнянні з зовнішньою частиною та більш тривалий проміжок часу залишається рідкою. Далі відбувається процес вторинної кристалізації в машині безперервної розливки. Для цього матеріал надходить до зони вторинного охолодження, де здійснюється інтенсивне охолодження водою з форсунок, що дозволяє закристалізуватися матеріалу за усім поперечним перерізом. В результаті такого процесу є можливість отримати кристалічний металовиріб нескінченної довжини.

					КНУ.РБ.136.26.112с-13.01.ЗХПСОКП	Аркуш
						1.7
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Процес безперервної розливки сталі має переваги та недоліки.

Переваги безперервної розливки сталі у порівнянні з дискретною полягають у тому, що забезпечується зниження капітальних вкладень через скорочення виробничих площ, що використовують під капітальне обладнання на 30-35 %, а інколи такі скорочення доходять і до 50 %. В порівнянні з дискретною розливкою у виливниці спочатку сталевий матеріал виплавляють у сталеплавильній печі, після чого виливають у виливниці, де відбувається її повне охолодження та кристалізація. Далі піддають великі виливки обробці тиском. Така обробка здійснюється в гарячому стані. Для цього отриманий зливочок потрібно спрямувати в масивний нагрівний колодязь, де і відбувається його нагрівання до заданих температур, яка залежить від хімічного складу матеріалу зливка. Дали такий злиток, з метою зменшення його поперечних розмірів піддають обробці тиском на обтискних прокатних станах, де отримують блюми та сляби. З блюма матеріал спрямовують на безперервно-заготівельний прокатний стан, де відбувається подальше зменшення розмірів отриманого блюма. Таким чином отримують заготовки квадратного поперечного перерізу які мають поперечні розміри від 80 мм до 150 мм.

У випадку безперервної розливки сталі відразу отримують заготовку потрібного розміру, не використовуючи обтискні та заготівельні прокатні стани. Перевага у тому, що є можливість уникнути застосування в цеху великої кількості виливниць та стріперних кранів, сталерозливних ківшів та візків на які їх встановлюють. Відпадає необхідність в утриманні складного устаткування для підготування потягів для виливниць, в застосуванні піддонів. Таким чином значно спрощується технологія виготовлення сортового прокату через виключення операцій обтиснення на блюмінгах, прокатування на безперервно-заготовочному прокатному стані, відпадає необхідність в такому дороговартісному обладнанні, скорочується час на виробництво продукції, збільшується продуктивність процесу.

					КНУ.РБ.136.26.112с-13.01.ЗХПСОКП	Аркуш
						1.8
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Перевага безперервної розливки сталі спостерігається в економії сировини, матеріальних та енергетичних ресурсів через те, що відпадає необхідність у нагріванні матеріалу в нагрівних колодязях.

Підвищується вихід готового металу та сплаву через те, що зменшуються втрати металу на його обріз, розрізне устаткування машини безперервної розливки сталі забезпечує отримання металовиробів потрібної довжини, є можливість усунути усадкові раковини та пори, через це зменшується кількість бракованого матеріалу. Це забезпечує підвищення виходу готового металу та сплаву на 10-20 %.

Забезпечується зростання продуктивності процесу отримання виробів за рахунок збільшення виходу готового металу та сплаву, зростання обсягу його виробництва, зменшення витрат часу на нагрівання матеріалу, на обробку його в обтискних цехах тощо.

При поєднанні безперервної розливки сталі з процесами прокатування забезпечується отримання якісної продукції при мінімальних витратах.

Забезпечується більш якісна готова продукція за рахунок того, що в машині безперервної розливки отримують більш якісну внутрішню структуру матеріалу під час його кристалізації в порівнянні з розливанням у виливниці. Під час виготовлення дискретних збільшується внутрішньо кристалічна ліквация та хімічна неоднорідність. При кристалізації матеріал має зовнішні шари, які отримали кристалічну структуру швидше, як його внутрішні шари. В центральній частині зливок кристалізується в останню чергу. Це призводить до того, що у цьому центрі зосереджені у великій кількості тугоплавкі компоненти, які утворюють неоднорідність структури як у поздовжньому, так і у поперечному напрямках. В машинах безперервної розливки сталі отримується мінімальна ліквация, а різні металеві включення подрібнюються, що і створює однорідну структуру металу та металевих сплавів. Таке явище забезпечує створення однорідних фізико-механічних властивостей виробу за усім поперечним перерізом. Виходячи з цього, при виконанні розрахунків на міцність, жорсткість,

					КНУ.РБ.136.26.112с-13.01.ЗХПСОКП	Аркуш
						1.9
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

стійкість, витривалість потрібно зменшувати коефіцієнт запасу міцності та знижувати коефіцієнт використання матеріалу, що додатково спряє економії матеріалу при виготовленні металовиробів з безперервно-ливої заготовки.

При використанні технології безперервної розливки сталі, отримується більш вірна та якісна зовнішня форма виробу через те, що існує можливість тримати прямолінійну рівну поверхню закристалізованого зливка на відміну від дискретного зливка, який отримує нахилу форму через нахилу форму виливниць. Завдяки рівній формі виробу значно полегшуються такі процеси, як охолодження, складування, транспортування, нагрівання в печі, подальша обробка.

Також існує можливість при використанні процесу безперервної розливки сталі суттєво скоротити чисельність виробничого та обслуговуючого персоналу. Це стає можливим завдяки тому, що відпадає необхідність в обслуговуванні важких обтискних та заготівельних прокатних станах, нагрівних колодязів, відпадає необхідність в працівниках, які працюють в стриперних відділеннях та відділеннях підготовки виливниць. Таке скорочення виробничого персоналу може досягати 20-30 %.

На машинах безперервної розливки сталі існує можливість досягти високого рівня автоматизації усього виробничого процесу, існує можливість створення автоматизованих ліній, легко здійснити автоматичне контролювання технологічних параметрів процесу розливки та кристалізації, величини зміни температури, контролювання якості матеріалу, точності розмірів виробу та їх граничних відхилень від номінальних.

В результаті отримання виробів безперервною розливкою сталі існує можливість отримання досить точних розмірів за довжиною виробу, що дозволяє скоротити витрати на обріз, та уникнути складного спеціального обладнання для здійснення обрізання.

При роботі на машинах безперервної розливки сталі значно покращується екологічна обстановка в цеху та на підприємстві, зменшується запиленість

					КНУ.РБ.136.26.112с-13.01.ЗХПСОКП	Аркуш
						1.10
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

повітря навколо машини безперервної розливки, а, відповідно, у в усьому цеху, яка виникає при знятті окалини та при обрізі матеріалу. Шкідливі викиди при безперервній розливці сталі суттєво зменшуються в усьому цеху і в багатьох цехах взагалі відсутні викиди, які мають вуглекислий газ. При роботі на машині безперервної розливки виключаються шкідливі види робіт, до яких відносять прибирання скрапу та вогнетривів, відпадає необхідність укладати сифонні проводки, зникає потрібність у встановленні та закріпленні виливниць. Усі ці явища ведуть до покращення роботи працівників, які обслуговують металургійні цехи.

Кристалізатор машини безперервної розливки сталі безперервно охолоджується водою. Але її забруднення мінімальне через те, що вона рухається по замкнутому колу через оборотні системи водозабезпечення. В цих системах відбувається ретельне очищення води в декілька ступенів. Для повного очищення води застосовують різні водовідстійники та спеціальні флотаційні пристрої.

Окрім переваг, існують і деякі недоліки при роботі на машині безперервної розливки сталі та сплавів. Недоліком вважається той факт, існують деякі ускладнення при розливці як напівспокійних, так і киплячих сталей, а також ускладнене розливання деяких легованих марок сталей та неіржавіючих матеріалів.

Для безперервної розливки металів та сплавів використовується спеціальне обладнання, що має назву машини безперервної розливки.

Машиною безперервної розливки сталі вважається металургійний агрегат, в якому змінюється агрегатний стан оброблюваного матеріалу з рідкого на твердий шляхом безперервної розливки. В такому агрегаті отримують вироби різної форми та розмірів: блюми, сляби, безперервно-литі заготовки, сортовий та листовий прокат. В машині безперервної розливки рідкий метал проходить крізь охолоджуваний кристалізатор, де і відбувається формування безперервно-литого злитку, який в подальшому охолоджується водою та витягається роликми, після чого розрізається на мірні довжини.

					КНУ.РБ.136.26.112с-13.01.ЗХПСОКП	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		1.11

Машинаи безперервної розливки сталі класифікують за декількома ознаками:

- за призначенням;
- за конструктивним виконанням;
- за кількістю струмків.

За конструктивним виконанням машинаи безперервної розливки поділяють на горизонтальні, вертикальні, радіальні, з вигином заготовки та криволінійні.

При використанні машинаи безперервної розливки вертикального типу, потрібно забезпечити повне затвердіння рідкої фази матеріалу у вертикальному положенні. Такі машинаи потребують значної висоти будівлі та значного заглиблення у фундамент, особливо про отриманні виробів великих поперечних перерізів, що відноситься до суттєвого недоліку такої конструкції машинаи безперервної розливки. Інший недолік – відсутність можливості збільшення швидкості обробки. Також до недоліків потрібно віднести те, що неможливо поєднати в один ланцюг таку розливку з прокатуванням.

Для МБРС горизонтального типу характерно те, що її вісь розташовано горизонтально, або під кутом $15-20^\circ$ до горизонталі. Такі машинаи використовують для відливання сортових заготовок, які мають невеликі поперечні перерізи. Швидкість розливки досягає 4 м/с. До переваг таких машин можна віднести те, що вони мають не велику висоту та масу обладнання, що відповідно, зменшує вартість їх будівництва в порівнянні з попередніми.

Особливість криволінійної машинаи безперервної розливки полягає у тому, що вона має вертикально встановлений кристалізатор та вертикальну ділянку під ним, що має довжину, яка знаходиться в межах 1,5 – 2,5 м. Після цієї ділянки відбувається згинання по радіусу. Така конструкція забезпечує сприятливі умови при формуванні виробів у початковий період кристалізації. Спрощується процес видалення неметалевих включень. Наступні ділянки криволінійної машинаи аналогічні ділянкам радіальної.

					КНУ.РБ.136.26.112с-13.01.ЗХПСОКП	Аркуш
						1.12
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Така машина має переваги, які зосереджені в наступному: покращується якість поверхневих та підповерхневих шарів отриманих заготовок, збільшується компактність обладнання через те, що зменшується у порівнянні з вертикальними та довжина в порівнянні з горизонтальними машинами безперервної розливки.

Криволінійна машина безперервної розливки сталі має разом з перевагами і недоліки, які полягають у тому, що підвищуються вимоги до точності настроювання роликів зони вторинного охолодження, дуже жорстко регламентується величина деформації затверділої кірки.

Такі машини отримали найбільше розповсюдження при безперервній розливці слябової заготовки.

Одним з різновидів криволінійних МБЛЗ є машина з прямим кристалізатором, де початкове формування металевго матеріалу здійснюється на вертикальній прямій ділянці, яка має довжину від 2 м до 3 м. Після первинної кристалізації відбувається вигин в декількох точках в результаті чого отримують дугу постійного радіусу, далі здійснюється випрямлення отриманого злитка в декількох точках і закінчується затвердіння матеріалу на горизонтальній ділянці.

Така конструкція МБЛЗ має свої переваги, які полягають у тому, що вони більш прості в обслуговуванні, у отриманні прямого кристалізатору, можливість підвищення якості виробу за рахунок того, що спливають наверх металеві включення на прямолінійній ділянці.

Але поряд з перевагами існують і недоліки через те, що таке обладнання має більшу висоту за попередні, яка досягає від до 3 м. Протяжність таких машин може бути до 47 м. Швидкість розливки вуглецевої сталі досягає 2,5 м/с. При розливці високовуглецевих сталей швидкість розливки зменшується і досягає 1,5 м/с.

Особливість радіальної МБЛЗ у тому, що формування заготовки здійснюється по дузі, яка має постійний радіус. При збільшенні поперечного перерізу відливки потрібно збільшувати радіус МБЛЗ. Такі машини доцільно

					КНУ.РБ.136.26.112с-13.01.ЗХПСОКП	Аркуш
						1.13
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

застосовувати для розливки сортової сталі, що має поперечний переріз до 200×200 мм.

За призначенням машини безперервної розливки класифікують на блюмові, слябові, сортові.

Блюмові машини безперервної розливки сталі призначені для отримання блюмів – виробів квадратного або прямокутного поперечного перерізу, розмірами від 200×200 мм до 450×450 мм. Такі матеріали в подальшому використовують для виготовлення рейок, балок сортового прокату тощо.

Слябові МБЛЗ використовують для отримання слябів – заготовок, які мають прямокутний поперечний переріз з достатнім відношенням ширини до товщини. Такі сляби в подальшому прокатують для отримання листів.

Сортові МБЛЗ використовують для отримання сортової заготовки, яка має поперечні розміри від 80×80 мм до 160×160 мм. Швидкість витягування заготовок дорівнює 2,5 – 4,5 м/с.

За кількістю струмків МБЛЗ класифікують на однострумкові, двострумкові та багатострумкові.

Використання багатострумкових машин вимагає, щоб їх обслуговували розливні ківші великої ємності. В цьому і зосереджені недоліки таким машин через те, що підвищуються вимоги до температурної однорідності матеріалів.

Для отримання потрібного виробу з низьковуглецевої сталі марки Сталь 20, що має діаметр 80 мм надаємо перевагу МБЛЗ криволінійного типу, для дослідження будемо викривувати однострумкову.

Машина безперервної розливки сталі складається з наступних елементів та устаткування (рис. 1.4): сталерозливного ківшу, який закріплюють на поворотному стенді, проміжного ківшу, куди надходить рідка сталь з розливного ківшу, кристалізатору-охолоджувача, заслонки та стопору, тягнучих роликів; системи вторинного охолодження, пристроїв, що витягують закристалізований зливоч з кристалізатору, обладнання для розрізання та переміщення зливка.

					КНУ.РБ.136.26.112с-13.01.3ХПСОКП	Аркуш
						1.14
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

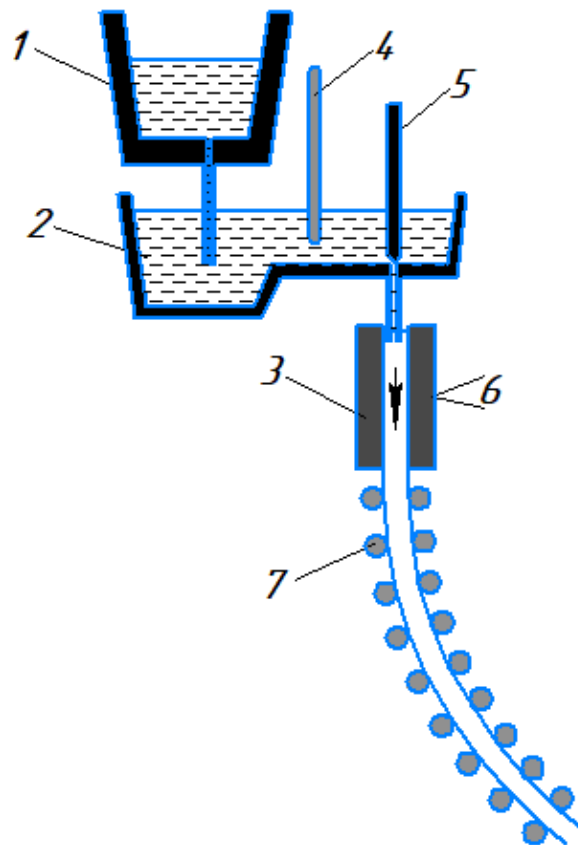


Рисунок 1.4 – Схема машини безперервної розливки сталі:

1 – розливний ківш; 2 – проміжний ківш; 3 – кристалізатор-охолоджувач;
4 – заслонка; 5 – стопор; 6 – зона де відбувається кристалізація матеріалу;
7 – тягнучі ролики

Розташування основних елементів машини безперервної розливки наведено на рис. 1.5.

На рисунку показано двострумкову слябову машину безперервної розливки сталі, де з однієї установки одночасно отримують два сляби.

Поворотний стенд – уявляє собою устаткування для розміщення розливних ківшів. Стенд забезпечує точне установлення розливного ківшу над проміжним в положення розливки сталі.

Проміжний ківш – встановлено безпосередньо над кристалізатором, він забезпечує точне надходження рідкої сталі до кристалізатору завдяки точному

					КНУ.РБ.136.26.112с-13.01.ЗХПСОКП	Аркуш
						1.15
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

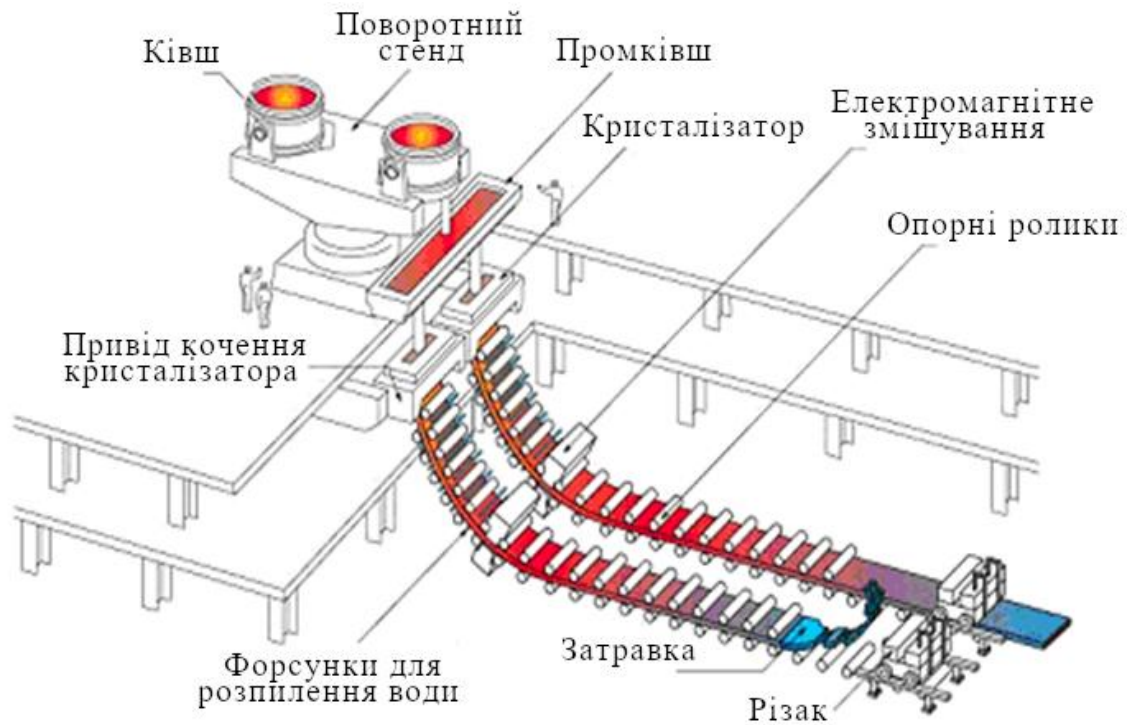


Рисунок 1.5 – Розташування основних елементів МБЛЗ

спрямуванню струмені рідкого матеріалу. завдяки спеціальній конструкції проміжного ківшу існує можливість одночасного розливання рідкої сталі в декілька кристалізаторів при використанні багатострумкової машини безперервної розливки сталі. Також, завдяки кристалізатору існує можливість здійснювати безперервну розливку сталі методом «плавка на плавку» при заміні проміжних ковшів. При цьому не потрібно здійснювати зупинку між партіями, забезпечує безперервність процесу. Завдяки проміжному ківшу забезпечується безупинне точне попадання рідкого матеріалу в кристалізатор.

Кристалізатор – це те устаткування, де відбувається поступове затвердіння рідкого матеріалу. Саме в кристалізаторі формуються внутрішня структура матеріалу, яка визначає його фізико-механічні властивості. В кристалізаторі відбувається формування зливка потрібної форми та розмірів. Для забезпечення швидкого відведення теплоти від гарячого рідкого металу кристалізатор виконують з міді або нікелю. Для збільшення швидкості кристалізації матеріалу, кристалізатор, ззовні, охолоджують водою.

Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Зона вторинного охолодження – це ділянка, що знаходиться за кристалізатором. Вона створює найбільш сприятливі умови для подальшої кристалізації рідкого металевого сплаву, який виходить з кристалізатору. В цій зоні відбувається рівномірне охолодження та поступову кристалізацію матеріалу за усім поперечним перерізом та довжиною за рахунок потрапляння в цю зону охолодженої води з форсунок. Остаточне формування профілю відбувається завдяки відповідній геометричній форми тягнучих роликів.

Тягнуче правильна машина використовується з метою витягування сформованого литого матеріалу з кристалізатора, випрямлення його, що найбільш актуально в радіальних та криволінійних машинах безперервної розливки. Це устаткування забезпечує подальшу подачу отриманого виробу до машин або механізмів розрізання для його порізки на мірні та не мірні частини. Також це устаткування забезпечує подачу затравки в кристалізатор, його утримання в пазах кристалізатору під час затвердіння першої порції металевого сплаву, витягання затверділої частини виливка разом з затравкою та відділення затравки від отриманого виливка.

Машини або механізми для розрізання отриманих зливків забезпечує розділення безперервно-литих заготовок на мірні довжини і відповідності з технічними вимогами.

1.4 Загальна характеристика прокатування та калібрування

Прокатування це процес обробки металів тиском при якому метал втягується завдяки силам тертя в щілину між прокатними валками, які обертаються, де відбувається його пластична деформація. У процесі пластичної деформація зменшується площа поперечного перерізу розкату і отримується його подовження, в висновок чого збільшується довжина. Обладнання, яке виконує прокатування має назву прокатного стану, інструмент, що забезпечує прокатування – прокатні валки.

					КНУ.РБ.136.26.112с-13.01.ЗХПСОКП	Аркуш
						1.17
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Прокатування класифікується за декількома ознаками:

- за взаємним розташуванням валків та оброблюваної смуги;
- за симетрією процесу;
- за зміною зазору між прокатними валками;
- за температурою обробки;
- за наявністю зовнішнього впливу.

За взаємним розташуванням осей валків та оброблюваного матеріалу процеси прокатування класифікують на поздовжні, поперечні та поперечно-гвинтові.

При поздовжньому процесі прокатування вісь прокатних валків розташовано перпендикулярно осі оброблюваного матеріалу (рис. 1.6). Прокатні валки обертають назустріч один одному, оброблюваний матеріал рухається поступально в результаті чого відбувається пластична деформація виробу, де зменшується його поперечний переріз та збільшується довжина. Використовують такі процеси при отриманні сортових, листових, деяких трубних профілів. Такий вид обробки дозволяє отримати точну форму та розміри прокату при високій продуктивності.

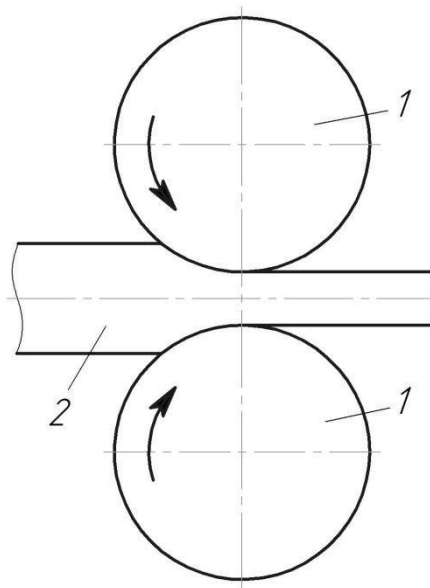


Рисунок 1.6 – Схема поздовжнього прокатування:

1 – прокатні валки; 2 – оброблюваний матеріал

					КНУ.РБ.136.26.112с-13.01.ЗХПСОКП	Аркуш
						1.18
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

При поперечному процесі прокатування осі прокатних валків та оброблюваного матеріалу розташовані паралельно (рис. 1.7). Прокатні валки обертаються в один бік, оброблюваний матеріал і інший. Оброблювана смуга з обох боків підтримується роликами в потрібному положенні. Такий вид прокатування використовують для отримання тіл обертання: валів, втулок тощо. Забезпечує отримання точної циліндричної форми та розміри виробів, але не має високої продуктивності та є деякі ускладнення при настроюванні.

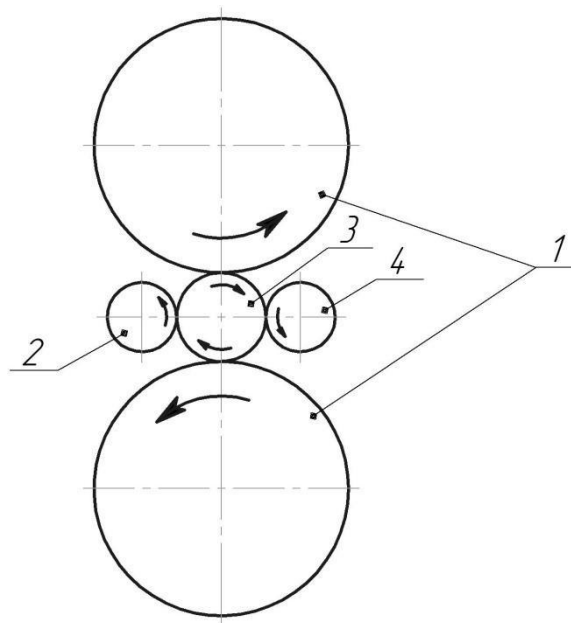


Рисунок 1.7 – Схема поперечного прокатування:

1 – прокатні валки; 2 – підтримуючий ролик;

3 – оброблюваний матеріал; 4 – підтримуючий ролик

Поперечно-гвинтове прокатування засновано тому, що осі прокатних валків перехрещуються між собою під деяким кутом. Оброблюваний матеріал встановлено таким чином, що поділяє цей кут навпіл (рис. 1.8). В результаті цього прокатці прокатні валки обертаються в один і той же бік, а оброблювана смуга обертається та рухається поступально.

Поперечно-гвинтове прокатування використовуються при прошиванні отвору в суцільному матеріалі, для створення гвинтових поверхонь.

					КНУ.РБ.136.26.112с-13.01.ЗХПСОКП	Аркуш
						1.19
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

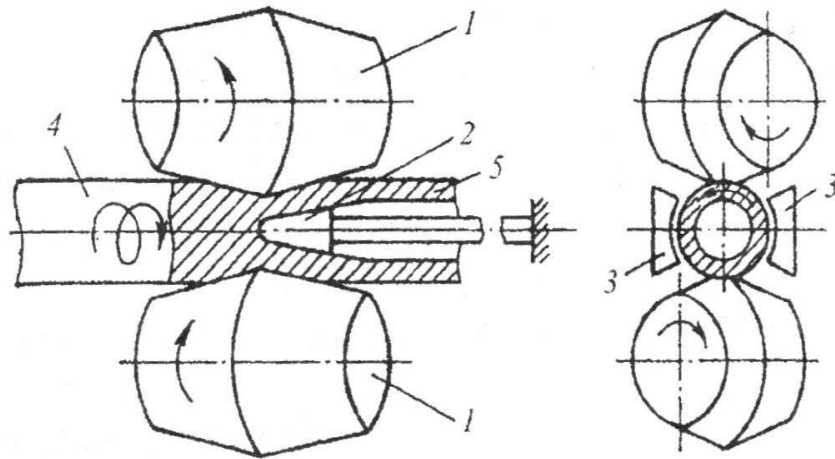


Рисунок 1.8 – Схема поперечно-гвинтового прокатування:

1 – прокатні валки; 2 – оправка; 3 – спрямовуючі лінійки;
4 – обробляємий матеріал; 5 – прошивання в суцільному матеріалі

За симетричністю процесу – прокатування може бути симетричним або не симетричним. Симетричним процес вважається у тому випадку, коли теплова та силова взаємодія верхнього та нижнього прокатного валка з оброблюваним матеріалом однакові та діаметри прокатних валків дорівнюють між собою.

У тому випадку, коли діаметри прокатних валків мають різні значення, силова і теплова взаємодія верхнього та нижнього прокатного валку різні, процес прокатування вважається не симетричним.

Процес прокатування може відбуватися при постійному зазорі між прокатними валками та при змінному зазорі. При постійному зазорі процес має назву стаціонарного, при змінному зазорі – періодичний процес прокатування. Періодичний процес прокатування використовується для отримання профілів, які мають періодичну форму поперечного перерізу.

За наявністю зовнішнього впливу процеси прокатування поділяють на вільне та невільне прокатування. Вільною прокаткою вважається у тому випадку коли на оброблюваний матеріал діють сили тільки з боку прокатних валків. Невільною прокаткою вважається той випадок, коли на оброблюваний матеріал,

окрім сил, що діють з боку прокатних валків, також діють і додаткові зовнішні сили, наприклад, дія сили натягнення, або сили підпору.

За температурою процеси прокатування класифікують на гаряче та холодне прокатування. При гарячому прокатуванні початковий матеріал нагрівається до температури 1050-1250°C в залежності від хімічного складу цього матеріалу (марки сталі). Використовується при виготовленні сортовий, листових, трубних профілів з крупногабаритних зливок чи заготовок, або з важкооброблюваних матеріалів, що мають великий опір пластичній деформації.

Матеріали, що мають не велику границю течії, наприклад, алюміній, бронза, латунь тощо, піддають холодному прокатуванню. Холодне прокатування здійснюється при кімнатній температурі. Також холодному прокатуванню можна піддавати дрібні та тонкостінні профілю, які не потребують для виконання пластичної деформації великих зусиль прокатування, або при прокатуванні тонких листів.

Процеси прокатування здійснюють на прокатних станах.

Прокатний стан – це сукупність машин та механізмів, що забезпечують виготовлення виробів потрібної форми та розмірів завдяки здатності металів до пластичної деформації.

Прокатний стан у своєму складі має основне та допоміжне обладнання.

Основним обладнанням вважається те обладнання, що забезпечує виконання пластичної деформації оброблюваного матеріалу. До складу такого обладнання відносять робочі кліть з прокатними валками; шпинделі; шестеренна кліть; різні муфти: корінна, головна, моторна муфти; редуктор та двигун (рис. 1.9).

Допоміжне обладнання пластичну деформацію не здійснює, але забезпечує її виконання основним обладнанням. Усе допоміжне обладнання можна розділити на два види: транспортує та обробне устаткування. Транспортує обладнання забезпечує транспортування матеріалів продовж та поперек цеху або прокатної ліній. До транспортуючого обладнання відносять рольганги,

					КНУ.РБ.136.26.112с-13.01.ЗХПСОКП	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		1.21

передаточні візки, шлепера. До обробного обладнання відносять ножиці, пили, шліфувальні та металорізальні верстати, правильні машини.

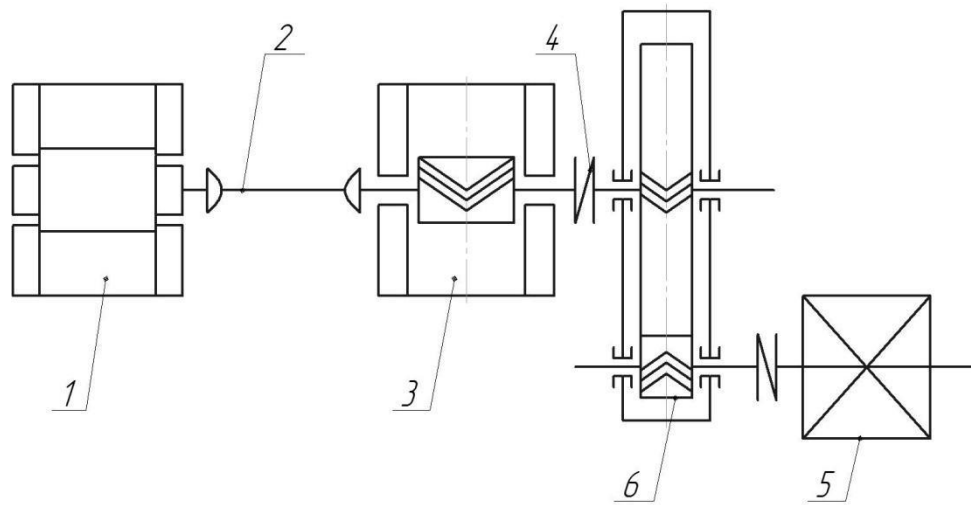


Рисунок 1.9 – Схема розташування основного обладнання прокатного стану: 1 – робоча кліть; 2 – шпindel; 3 – муфта корінна; 4 – редуктор; 5 – муфта моторна; 6 – редуктор

Усі процеси пластичної деформації здійснюються в робочій кліті прокатного стану. Робоча кліть складається з прокатних валків, які встановлюють в підшипники, станини, механізмів для підтримання положення прокатних валків та їх фіксації, натискних гвинтів, валкової арматури, з пристроїв для змащення та охолодження прокатних валків. Конструкція робочої кліті залежить від умов прокатування, конструкції та кількості прокатних валків, їх розташування в прокатній кліті: вертикальне чи горизонтальне.

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

Робоча кліть може мати два прокатних валка (рис. 1.10, а), має назву двовалкова. Використовується для прокатування всіх сортових профілів, листових, деяких трубних.

Розташування трьох прокатних валків в робочій кліті показано на рис. 1.10, б. Такі робочі кліті присутні в листових прокатних станах. Вони

					КНУ.РБ.136.26.112с-13.01.ЗХПСОКП	Аркуш
						1.22
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

практично не використовуються через низьку продуктивність прокатування та не велику точність обробки.

Схема чотиривалкової прокатної кліті наведена на рисунку 1.10, в. Така робоча кліть має два робочих прокатних валка, які здійснюють пластичну деформацію матеріалу та два опорних прокатних валка, які підтримують робочі прокатні валки, що дозволяє підвищити жорсткість робочої кліті. Таке розташування прокатних валків спостерігається, переважно, при прокатуванні листів, що дозволяє збільшити точність обробки.

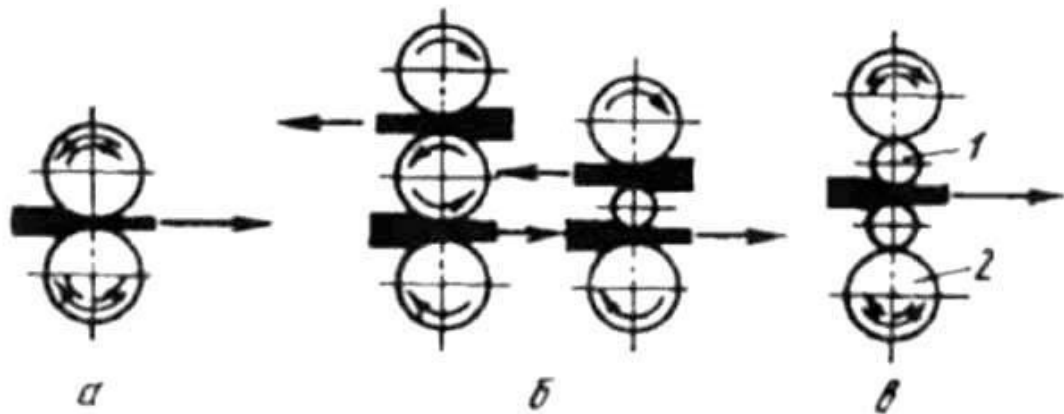


Рисунок 1.10 – Схеми розташування прокатних валків: а – двовалкова прокатна кліть (дуо); б – тривалкова (тріо); в – чотиривалкова прокатна кліть

Для отримання круглого профілю, що має діаметр 80 мм будемо використовувати двовалкову прокатні кіть.

Прокатні валки – це основний елемент прокатних валків через те, що вони виконують основні процеси пластичної деформації. На них діють усі зусилля прокатування. Саме завдяки дії прокатних валків відбувається обтиснення оброблюваного матеріалу, його розширення та подовження.

Прокатні валки виготовляють з чавуну, сталі та спеціальних сплавів в залежності від умов прокатування.

Чавунні прокатні валки мають високу твердість, через те, їх використовують для чистової обробки на останніх проходах. Виготовляють

чавунні прокатні валки з сірого, відбіленого та високоміцного чавуну для сортових та листових профілів, де не потрібна висока міцність, а потрібно висока точність форми та розмірів.

Сталеві прокатні валки забезпечують високу міцність та зносостійкість. Їх виготовляють з вуглецевих сталей марок: Сталь 50, Сталь 55; легованих сталей марок 55ХН, 60ХН, 4Х2МФ, що дозволяє підвищити їх міцність та в'язкість. Використовують сталеві прокатні валки на важких умовах роботи, для виконання великих обтиснень на обтискних станах:

Прокатні валки можуть бути литими або кованими. Ковані виготовляють валки зі сталевих матеріалів. Литі прокатні валки можуть бути виготовлені як із чавуну, так і зі сталі.

Для отримання прокату круглого поперечного перерізу діаметром 80 мм будемо використовувати чавунні прокатні валки тому, що не потрібно виконувати великі обтиснення при суміщенні процесу лиття-прокатування, а потрібно отримати точні розміри.

Прокатний валок (рис. 1.11) складається з трьох основних елементів: бочки, шийки, яка вставляється в підшипник та хвостовика, який служить для передачі крутячого моменту.

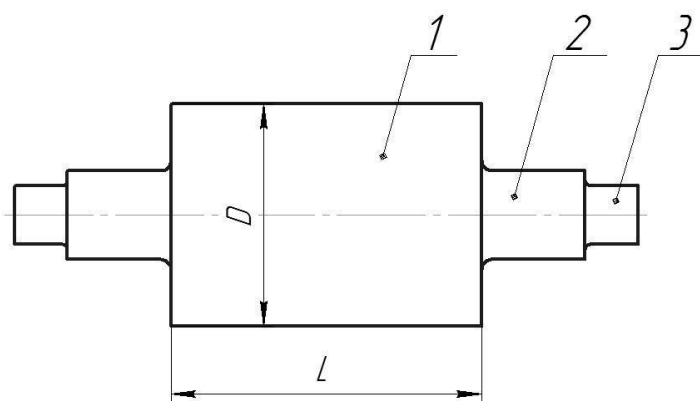


Рисунок 1.11 – Прокатний валок робочої кліті:

l – бочка прокатного валка; *2* – шийка; *3* – хвостовик

Прокатні валки, в залежності від форми бочки можуть бути циліндричними або каліброваними. Циліндричні прокатні валки мають гладку поверхню бочки.

Калібровані прокатні валки мають кільцевий виріз на бочці, що називається калібром. На рисунку 1.12 показано калібрований прокатний валок.



Рисунок 1.12 – Калібрований прокатний валок

Для отримання точної форми та розмірів профілю використовують калібрування прокатних валків. Точність розмірів отриманого профілю цілком залежить від розрахованої калібровки.

Калібрування прокатних валків – це встановлення системи послідовних калібрів для отримання з початкового матеріалу вірного профілю. При розрахунку калібрування встановлюють загальну витяжку, та витяжку за проходами, кількість потрібних проходів, величини обтиснення та розширення, катаючи діаметри прокатних валків, середню лінію та лінію прокатування, глибини калібрів, глибини врізання калібрів, швидкість прокатування.

Основна мета калібрування прокатних валків: забезпечення точного профілю виробу з якісною поверхнею, зменшення тривалості прокатування та автоматизація процесу. Методи розрахунку повинні враховувати вплив окремих частин калібру на оброблювану смугу для визначення точки прикладення рівнодіючих сил.

					КНУ.РБ.136.26.112с-13.01.3ХПСОКП	Аркуш
						1.25
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Калібрування прокатних валків повинно забезпечувати мінімальну зміну валків та калібрів при широкому асортименті випускаємої продукції.

При калібруванні прокатних валків виконують основні задачі:

- отримання профілю, що має задані розміри з врахуванням граничних відхилень за мінімальну кількість проходів;
- забезпечення якості як внутрішньої, так і зовнішньої поверхні виробу;
- встановлення раціонального навантаження на усі робочі кліті;
- отримання максимальної продуктивності процесу прокатування.

В залежності від призначення калібру існують різні форми та їх системи.

Ящикові калібри призначення для прокатування в чорнових групах клітей або обтискних прокатних станах. Прокатні кліті з такими калібрами дозволяють виконувати великі обтиснення оброблюваного матеріалу.

Системи витяжних калібрів мають ромбічні, квадратні діагонально врізані форми, овальні та форму ребрового овалу. Чистові калібри мають форму та розміри готового виробу з врахуванням мінусового допуску та теплового розширення металу.

					КНУ.РБ.136.26.112с-13.01.ЗХПСОКП	Аркуш
						1.26
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2 РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ СУМІЩЕННЯ ЛИТТЯ-ПРОКАТУВАННЯ ДЛЯ ОТРИМАННЯ ВІРНОГО ПРОФІЛЮ КРУГЛОГО ПОПЕРЕЧНОГО ПЕРЕРІЗУ РОЗМІРОМ 80 мм

2.1 Послідовність технологічних операцій з виготовлення круглого профілю діаметром 80 мм суміщенням процесів лиття-прокатування

Технологія процесу суміщення лиття-прокатування складається з наступних операцій:

- 1) Підготування рідкої сталі в ковші-печі для досягнення потрібного хімічного складу та температури.
- 2) Подача ківшу з рідкою сталлю до машини безперервної розливки і встановлення ківшу на стенд.
- 3) Розливка рідкої сталі з розливного ківшу у проміжний.
- 4) Надходження рідкої сталі до мідного кристалізатора, де відбувається її первинна кристалізація, під час якої утворюється тверда зовнішня оболонка виробу. Кристалізатор піддається водяному охолодженню з форсунок.
- 5) Витягання затверділого злитку з кристалізатору у зону вторинного охолодження, де відбувається подальше затвердіння матеріалу.
- 6) Подача затверділого матеріалу квадратної форми з площею поперечного перерізу 100×100 мм до прокатної кліті за допомогою рольгангу.
- 7) Обтиснення безперервно-литого злитку в робочих клітках відповідно до розрахованих режимів.
- 8) Розрізання круглого прокату на мірні довжини за допомогою плазмового різання.
- 9) Маркування та транспортування готового прокату.

					КНУ.РБ.136.26.112с-13.02.РТСЛП					
Вим.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата						
Розробив		Сухотін			РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ СУМІЩЕННЯ ЛИТТЯ- ПРОКАТУВАННЯ		Літ.	Аркуш	Аркушів	
Перевірив		Чубенко							2.1	19
Рецензент							Кафедра МЧМЛВ гр. МТ-23-1ск			
Н. контр.		Чубенко								
Затвердив		Бабошко								

2.2 Обладнання для здійснення лиття-прокатування виробу круглого поперечного перерізу діаметром 80 мм

Для здійснення процесу лиття-прокатування виробу круглого поперечного перерізу, що має діаметр 80 мм, потрібно визначити обладнання, що забезпечити виготовлення профілю.

Для суміщення лиття-прокатування використовувався ливарно-прокатний агрегат, схема якого показана на рис. 2.1.

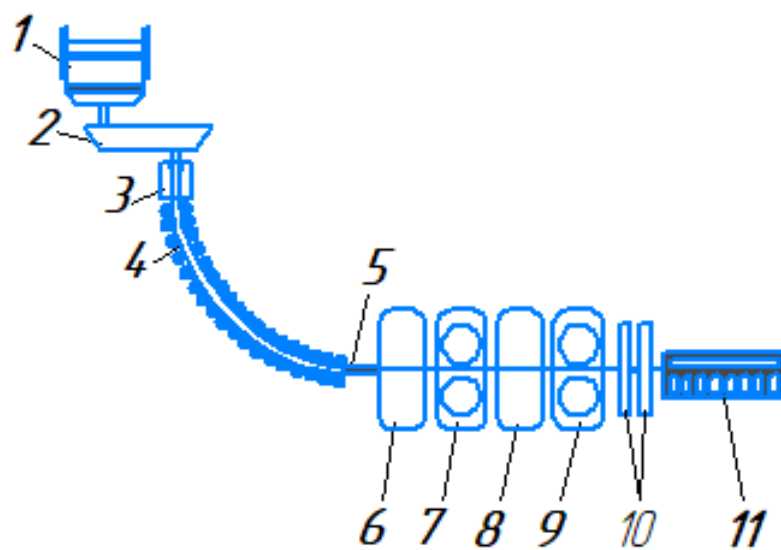


Рисунок 2.1 – Компонування ливарно-прокатного модуля:

- 1 – розливний ківш; 2 – проміжний ківш; 3 – кристалізатор; 4 – витягуючі ролики; 5 – заготовка, що витягується з кристалізатора; 6 – двовалкова вертикальна робоча кліть, що має ящик калібру; 7 – двовалкова горизонтальна робоча кліть, що має калібр в формі ребрового овалу; 8 – двовалкова вертикальна кліть, що має овальний калібр; 9 – двовалкова горизонтальна кліть, що має круглий калібр, 10 – ножиці для розрізання смуги; 11 – холодильник

З рисунка видно, що використовувалася криволінійна машина для безперервної розливки сталі.

Для здійснення процесу прокатування безперервно-ливої заготовки використовувалося чотири прокатні кліті, які мають почергове вертикальне та горизонтальне розташуванням, що забезпечує всебічне обтиснення матеріалу та добру проробку внутрішньої поверхні виробу, що дозволяє підвищити якість отриманої продукції.

Прокатне обладнання має чотири прокатні кліті: перша і друга розташовані горизонтально, третя – вертикально, четверта – горизонтально. Кожна робоча кліть має по два прокатних валка, які відлиті з чавуну марки СЧ 15. Діаметр прокатних валків з метою універсальності має однаковий діаметр $D_v=500$ мм.

Прокатні валки – калібровані. В першій прокатній кліті використовуються калібри – ящиковий, в другій – ребровий овал, в третій – овал, в четвертій – круглий калібр, який забезпечує отримання вірного профілю круглого поперечного перерізу діаметром 80 мм.

2.3 Калібрування прокатних валків для отримання виробу круглого поперечного перерізу 80 мм

Для отримання вірного профілю та розмірів виробу потрібно визначити загальний коефіцієнт витяжки та розподілити його за клітями.

Загальний коефіцієнт витяжки визначається за формулою:

$$\mu_{\Sigma} = \frac{F_3}{F_k}, \quad (2.1)$$

де F_3 – площа поперечного перерізу безперервно-ливої заготовки;

F_k – площа поперечного перерізу кінцевого виробу.

Площа поперечного перерізу квадратної безперервно-ливої заготовки знаходиться за формулою:

$$F_3 = c^2, \quad (2.2)$$

де c – бік квадрату.

					КНУ.РБ.136.26.112с-13.02.РТСЛП	Аркуш
						2.3
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Безперервно-лита заготовка має квадратну форму, де бік квадрату дорівнює 100 мм.

Площа поперечного перерізу отриманої заготовки буде дорівнювати:

$$F_3 = 100^2 = 10000 \text{ мм}^2.$$

Площа поперечного перерізу кінцевого продукту, який має круглий профіль знаходиться за формулою:

$$F_k = \frac{\pi d^2}{4}, \quad (2.3)$$

де d – діаметр виробу.

Для виробу діаметром 80 мм площа буде дорівнювати:

$$F_k = \frac{3,14 \cdot 80^2}{4} = 5024 \text{ мм}^2.$$

Після підстановки, отримаємо:

$$\mu_\Sigma = \frac{10000}{5024} = 1,99.$$

Розподіляємо загальний між чотирма проходами за формулою:

$$\mu_i = \sqrt[n]{\mu_\Sigma}. \quad (2.4)$$

Підставивши потрібні значення, отримаємо:

$$\mu_i = \sqrt[4]{1,99} = 1,1877.$$

Розподіляємо отриманий коефіцієнт витяжки за чотирма проходами і отримаємо:

$$\mu_\Sigma = 1,22 \cdot 1,18 \cdot 1,18 \cdot 1,1715.$$

Таким чином отримали коефіцієнт витяжки в першій прокатній кліті дорівнює: $\mu_1 = 1,22$;

в другій прокатній кліті коефіцієнт витяжки дорівнює: $\mu_2 = 1,18$;

в третій прокатній кліті коефіцієнт витяжки дорівнює: $\mu_3 = 1,18$;

в четвертій прокатній кліті коефіцієнт витяжки дорівнює: $\mu_4 = 1,1715$;

Площа поперечного перерізу виробу при прокатуванні в кожній прокатній кліті визначається за формулою:

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

					КНУ.РБ.136.26.112с-13.02.РТСЛП	Аркуш
						2.4
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Після прокатування в першій ящиківій прокатній кліті площа поперечного перерізу розкату дорівнює:

$$F_1 = \frac{10000}{1,22} = 8196,72 \text{ мм}^2.$$

Після прокатування в другій прокатній кліті площа поперечного перерізу розкату буде дорівнювати:

$$F_2 = \frac{8196,72}{1,18} = 6946,38 \text{ мм}^2.$$

Після прокатування в третій овальній прокатній кліті площа поперечного перерізу виробу дорівнює:

$$F_3 = \frac{6946,38}{1,18} = 5886,76 \text{ мм}^2.$$

Після прокатування в четвертій круглій прокатній кліті площа поперечного перерізу виробу дорівнює:

$$F_4 = \frac{5886,76}{1,1715} = 5024 \text{ мм}^2.$$

Там чином отримано потрібну площу поперечного перерізу профілю.

На прокатних валках використовується перший чорновий ящиківий калібр, далі розташовується система витяжних калібрів «ребровий овал – овал – круг». Така система забезпечує рівномірний розподіл температури за усім поперечним перерізом розкату, добру витяжку при прокатуванні та отримання точної форми та розмірів профілю. Чергування вертикальних та горизонтальних калібрів дозволяє забезпечити всебічну пластичну деформацію виробу, що дозволяє отримати якісну внутрішню поверхню.

Розрахунок калібрування виконуємо проти руху прокатування, починаючи з чистового круглого горизонтального калібру (рис. 1.2).

Діаметр калібру $d = 80 \text{ мм}$. Зазор приймаємо $S = 3 \text{ мм}$.

Ширина калібру визначається за формулою:

$$B_k = 1,021 \cdot d - 0,2 \cdot s. \quad (2.6)$$

Після підстановки, отримаємо:

$$B_k = 1,021 \cdot 80 - 0,2 \cdot 3 = 81,08 = 81,1 \text{ мм}.$$

					КНУ.РБ.136.26.112с-13.02.РТСЛП	Аркуш
						2.5
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

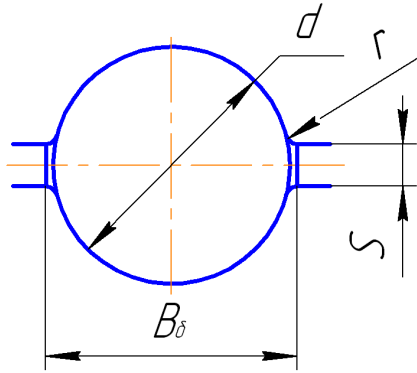


Рисунок 2.2 – Круглий калібр горизонтальний

Радіус по буртам калібру приймають рівним: $r = 0,1d = 0,1 \cdot 80 = 8$ мм.

Катаючий діаметр прокатного валка з круглим калібром дорівнює:

$$D_{k4} = 500 - 80 + 3 = 423 \text{ мм.}$$

Величина обтиснення в калібрі визначається за формулою:

$$\Delta h_i = h_{i+1} - h_i, \quad (2.7)$$

де h_{i+1} – висота калібру, що отримана в попередньому проході;

h_i – висота калібру, яка отримані в даному проході.

Розширення в калібрі Δb_i визначається за формулою:

$$\Delta b_i = b_{i+1} - b_i, \quad (2.8)$$

де b_{i+1} – ширина профілю до проходу в i -му калібрі;

b_i – ширина профілю після проходу в i -му калібрі.

Ступінь деформації ε_i у кліті визначається за формулою:

$$\varepsilon_i = \frac{\Delta h_i}{h_{i-1}} 100\%, \quad (2.9)$$

де h_{i-1} – висота смуги в попередньому проході.

Кут захоплення металу прокатними валками в кліті α_i визначається за формулою:

$$\alpha_i = \sqrt{\frac{\Delta h_i}{R_{\text{к ср}}}}, \quad (2.10)$$

					КНУ.РБ.136.26.112с-13.02.РТСЛП	Аркуш
						2.6
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де Δh_i – величина обтиснення в даній кліті;

$R_{\text{к ср}}$ – середній катаючий радіус прокатних валків, який залежить від форми калібрів.

Переходимо до розрахунку попереднього овального вертикально розташованого калібру (рис. 2.3).

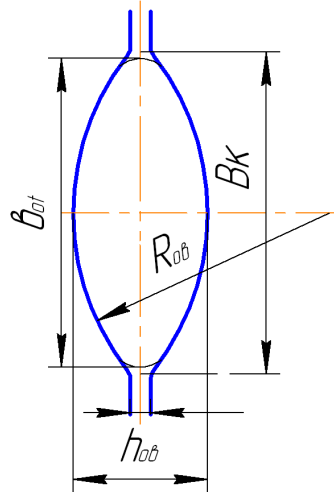


Рисунок 2.3 – Овал вертикальний

Розширення, що відбулося в калібрі, визначаємо за графіком Чекмарьова дорівнює: $\Delta b = 6$ мм.

Висота передчистового овалу визначається за формулою:

$$h_{ob} = d - \Delta b. \quad (2.11)$$

Після підстановки отримаємо потрібних значень, отримаємо, що висота ромбу дорівнює:

$$h_{ob} = 80 - 6 = 72 \text{ мм.}$$

Ширина передостаннього овалу визначається за формулою:

$$b_{ob} = \frac{3F_{ob}}{2h_{ob} + S}, \quad (2.12)$$

де F_{ob} – площа передчистового овалу: $F_{ob} = F_3$;

S – зазор між буртами валків, $S = 0,01D$, після підстановки отримаємо зазор: $S = 0,01D = 0,01 \cdot 500 = 5$ мм.

					КНУ.РБ.136.26.112с-13.02.РТСЛП	Аркуш
						2.7
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Після підстановки необхідних значень, отримаємо:

$$b_{ob} = \frac{3 \cdot 5886,76}{2 \cdot 72 + 5} = 118,5 \text{ мм.}$$

Виходячи з цих розмірів, у останньому круглому калібрі відбулося обтиснення:

$$\Delta h_{кр} = 118,5 - 80,0 = 38,5 \text{ мм.}$$

Ступінь деформацій в останній кліті дорівнює:

$$\varepsilon_{кр} = \frac{38,5}{118,5} 100 = 32,5\%.$$

Катаючий радіус прокатних валків для кліті з круглим калібром визначається за формулою:

$$R_{к.ср} = 0,5 \left(D_v - \frac{F_{кр}}{h_{кр}} + S \right). \quad (2.13)$$

Після підстановки відповідних значень, отримаємо:

$$R_{к.ср} = 0,5 \left(600 - \frac{5024}{800} + 3 \right) = 295 \text{ мм.}$$

Кут захоплення в першій прокатній кліті, що має круглий калібр, дорівнює:

$$\alpha_{кр} = \sqrt{\frac{38,5}{295}} = 0,3577 \text{ рад} = 20,5^\circ.$$

Наступна кліть має ребровий овал вертикальний (рис. 2.3).

Ребровий овал має плавні переходи, його форма близьку до круглої, відношення осей ребрового овалу дорівнюють: $a = 1,1 \dots 1,25$.

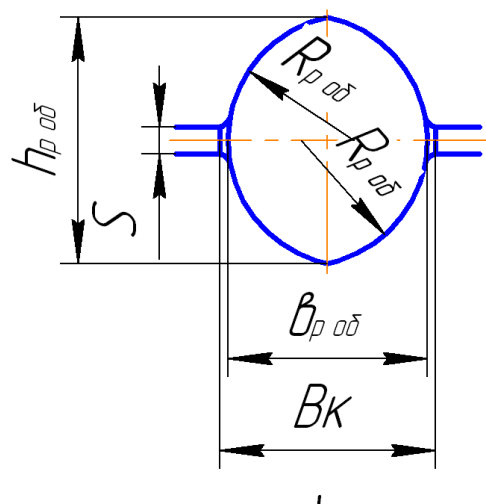


Рисунок 2.3 – Ребровий овал горизонтальний

					КНУ.РБ.136.26.112с-13.02.РТСЛП	Аркуш
						2.8
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Ширина ребрового овалу визначається за формулою:

$$b_{p.ов} = \sqrt{1,06 \cdot F_{pob}}. \quad (2.14)$$

Після підстановки відповідних значень, отримаємо ширину ребрового овалу:

$$b_{p.ов} = \sqrt{1,06 \cdot 6946,38} = 85,8 \text{ мм.}$$

Висота ребрового овалу визначається за формулою:

$$h_{p.ов} = a \cdot b_{p.ов}. \quad (2.15)$$

Після підстановки отримаємо

$$b_{p.ов} = 1,15 \cdot 85,8 = 98,67 \text{ мм.}$$

Приймаємо зазор між прокатними валками:

$$S = 0,1D_B = 0,1 \cdot 500 = 5 \text{ мм.}$$

Кут захоплення в ребровому овалі знаходиться за формулою:

$$\alpha_{p.ов} = \sqrt{\frac{(b_{ов} - h_{p.ов})}{R_{к.ср}}}, \quad (2.16)$$

де $R_{к.ср}$ – середній катаючий діаметр, для ребрового овалу катвіючий радіус знаходиться за формулою:

$$R_{к.ср} = 0,5 \left(D_B - \frac{F_{p.ов}}{h_{p.ов}} + s \right). \quad (2.17)$$

Після підстановки відповідних значень, отримаємо:

$$R_{к.ср \text{ ров}} = 0,5 \left(500 - \frac{6946,38}{85,8} + 5 \right) = 206,6 \text{ мм.}$$

Катаючий діаметр з ребровим калібром дорівнює: $D_{kpo} = 413,2 \text{ мм.}$

Кут захоплення після підстановки відповідних значень дорівнює:

$$\alpha_{p.ов} = \sqrt{\frac{(98,67 - 85,3)}{206,6}} = 0,253 \text{ рад} = 15,5^\circ.$$

Величина обтиснення при прокатуванні у овальному дорівнює:

$$\Delta h_{ов} = 98,67 - 72,0 = 26,67 \text{ мм.}$$

Ступінь деформації в овальному калібрі дорівнює:

$$\varepsilon_{ов} = \frac{26,6}{98,67} 100 = 27,0\%.$$

					КНУ.РБ.136.26.112с-13.02.РТСЛП	Аркуш
						2.9
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Величина розширення в овальному калібрі дорівнює:

$$\Delta b_{ов} = 118,5 - 85,3 = 19,83 \text{ мм.}$$

Наступний калібр – ящиковий квадрат – вертикальний (рис. 2.4).

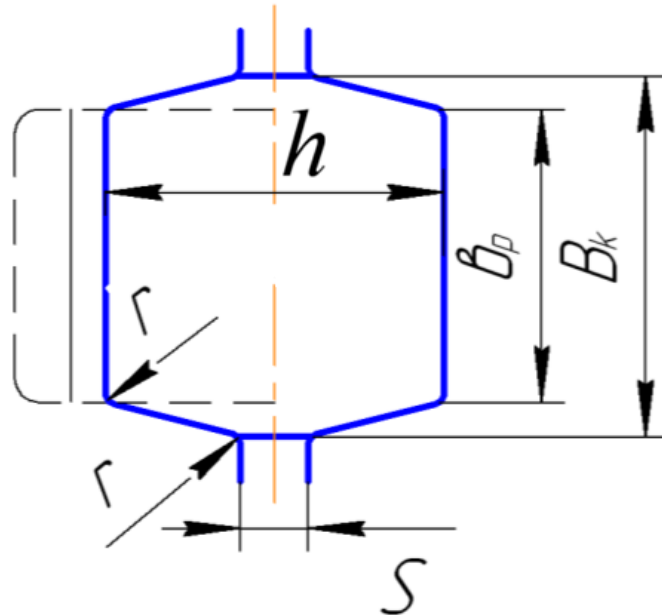


Рисунок 2.4 – Ящиковий квадрат

При прокатуванні в калібрі задаємо величину обтиснення $\Delta h = 20,0$ мм.

Тоді отримаємо ширину першого ящикового калібру:

$$h_1 = 100,0 - 20,0 = 80,0 \text{ мм.}$$

При цьому при прокатуванні отримаємо ширину калібру:

$$b_1 = \frac{F_1}{h_1} = \frac{8196,72}{80,0} = 102,5 \text{ мм.}$$

Ширина калібру по дну рівчака приймається рівною:

$$b_p = 0,98 \cdot b_k = 0,98 \cdot 102,5 = 100,45 \text{ мм.}$$

Ширина калібру по буртам:

$$B_k = b_k + 3 = 102,5 + 3 = 105,5 \text{ мм.}$$

Величину зазору приймаємо: $S = 8$ мм.

Величина обтиснення при прокатуванні в ребровому овалі дорівнює:

$$\Delta h_{ров} = 102,5 - 85,3 = 17,2 \text{ мм.}$$

Ступінь деформації при прокатуванні в ребровому овалі дорівнює:

$$\varepsilon_{p\text{ ов}} = \frac{17,2}{102,5} 100 = 16,8\%.$$

Величина абсолютного розширення дорівнює:

$$\Delta b_{p\text{ ов}} = 98,65 - 80,0 = 18,65 \text{ мм.}$$

Величина обтиснення при прокатуванні в ящиковому калібрі дорівнює:

$$\Delta h_{\text{ящ}} = 100 - 80 = 20 \text{ мм.}$$

Ступінь деформації при прокатуванні в ящиковому калібрі дорівнює:

$$\varepsilon_{\text{ящ}} = \frac{20}{100} 100 = 20\%.$$

Розширення в ящиковому калібрі дорівнює:

$$\Delta b_{\text{ящ}} = 102,5 - 100 = 2,5 \text{ мм.}$$

Катаючий діаметр вертикальних ящиковий прокатних валків знаходиться за формулою:

$$D_k = D_0 - h_l + S, \quad (2.18)$$

де D_0 – номінальний діаметр прокатних валків, $D_0 = 500$ мм.

Підставив відповідні значення, отримаємо:

$$D_{kl} = 500 - 80 + 8 = 428 \text{ мм.}$$

Кут захоплення в ящиковому калібрі дорівнює:

$$\alpha_{p.\text{ов}} = \sqrt{\frac{20}{214}} = 0,305 \text{ рад} = 17^\circ 3'.$$

Катаючий діаметр прокатного валка з вертикальним овальним калібром дорівнює: $D_{kov} = 500 - 72 + 5 = 427,5$ мм.

Дані розрахунку заносимо в табл. 2.1

					КНУ.РБ.136.26.112с-13.02.РТСЛП	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		2.11

Таблиця 2.1 – Розрахунок калібрування прокатних валків та режимів обтиснення

№ проходу	Форма та розташування калібру	μ	$F, \text{мм}^2$	$S, \text{мм}$	$D_B, \text{мм}$	$D_K, \text{мм}$	$\Delta b, \text{мм}$	$\Delta h, \text{мм}$	$b, \text{мм}$	$h, \text{мм}$	$\varepsilon, \%$
Безперервно лита заготовка	-	-	100000	-	-	-	-	-	100,0	100,0	-
1	Ящиковий вертикальний	1,22	8196,72	8	500	428,0	2,5	20,0	102,5	80	20
2	Ребровий овал горизонтальний	1,18	6946,38	5	500	413,5	18,68	17,2	98,67	85,8	16,8
3	Овал вертикальний	1,18	5786,76	5	500	427,5	19,87	26,67	118,5	72	27,0
4	Круг горизонтальний	1,1715	5024,0	3	500	432,0	6	38,5	81,1	80,0	32,5

2.4 Швидкісні умови процесу суміщення лиття-прокатування

Швидкість подачі рідкого металу в кристалізатор та швидкість витягування затверділого зливку з машини безперервної розливки є ключовими параметрами обробки, що визначають продуктивність машини та якість отриманої продукції. В умовах суміщення лиття-прокатування параметри цих швидкостей повинні, також, і відповідати швидкості прокатування. Швидкість розливки сталі та швидкість витягування повинні бути синхронізовані з метою забезпечення постійного рівня металу в кристалізаторі. Чим вища швидкість витягування з машини безперервної розливки зливка, тим вища її продуктивність, але збільшення швидкості вимагає більш ефективного охолодження металовиробу.

На швидкість витягання металовиробу з машини безперервної розливки впливає декілька чинників:

- тип МБЛЗ;
- поперечний переріз витягуємого зливка: для більших перерізів – менша швидкість витягування;
- марка оброблюваного матеріалу;
- інтенсивність охолодження, особливо у зоні вторинної кристалізації.

Приймаємо швидкість витягання матеріалу для заданих умов дорівнює 2,8 м/с.

При прокатуванні в першій прокатній кліті швидкість збільшується з врахуванням витяжки металу.

Швидкість прокатування визначається за формулою:

$$v_{i+1} = v_i \mu_i, \quad (2.19)$$

де v_{i+1} – швидкість прокатування в наступній кліті;

v_i – швидкість прокатування в даній прокатній кліті;

μ_i – коефіцієнт витяжки в даній кліті.

На виході з першої робочої кліті розкат отримає швидкість:

$$v_1 = 2,8 \cdot 1,22 = 3,416 \text{ м/с.}$$

					КНУ.РБ.136.26.112с-13.02.РТСЛП	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		2.13

На виході з другої робочої кліти розкат отримає швидкість:

$$v_2 = 3,416 \cdot 1,18 = 4,03 \text{ м/с.}$$

На виході з третьої робочої кліти розкат отримає швидкість:

$$v_3 = 4,03 \cdot 1,18 = 4,76 \text{ м/с.}$$

На виході з четвертої робочої кліти розкат отримає швидкість:

$$v_4 = 4,76 \cdot 1,1715 = 5,57 \text{ м/с.}$$

З розрахунків видно, що швидкість прокатування від кліти до кліти збільшується з врахуванням коефіцієнта витяжки. При цьому зберігається постійність секундних об'ємів. Таким чином швидкість обробки збільшилася з 2,28 м/с до 5,57 м/с.

2.5 Розрахунок зусилля прокатування

З метою оцінки витрат енергії на процес виконаємо розрахунок сили прокатування, яка залежить від опору деформації матеріалу, величини обтиснення та площі контактної поверхні у осередку деформації. Для цього будемо використовувати формулу:

$$P = p_{cp} \cdot F_K, \quad (2.20)$$

де p_{cp} – середній контактний тиск;

F_K – площа контактної поверхні прокатних валків з оброблюваним матеріалом у осередку деформації при прокатуванні.

Площа контактної поверхні визначається, як добуток довжини дуги захоплення ℓ_α на середню ширину смуги b_{cp} :

$$F_K = \ell_\alpha \cdot b_{cp}. \quad (2.21)$$

Середня ширина смуги розраховується за формулою:

$$b_{cp} = 0,5 \cdot (b_0 + b_1); \quad (2.22)$$

Середній контактний тиск визначається за формулою:

$$p_{cp} = \nu n_\sigma \sigma_S, \quad (2.23)$$

					КНУ.РБ.136.26.112с-13.02.РТСЛП	Аркуш
						2.14
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де ν – коефіцієнт, який враховує схему напруженого стану і залежить від відношення ширини смуги до довжини осередку деформації, приймає значення:

$$\nu = 1 \text{ при } b/\ell_\alpha \leq 1;$$

$$\nu = 1,5 \text{ при } b/\ell_\alpha \geq 5,$$

$$\nu = 1,15 \text{ при } b/\ell_\alpha \approx 2,$$

n_σ – коефіцієнт напруженого стану;

σ_S – середній опір деформації, при гарячому стані опір деформації для низьковуглецевої конструкційної сталі дорівнює 76 МПа.

Коефіцієнт напруженого стану розраховується з врахуванням зовнішніх параметрів обробки і визначається за формулою:

$$n_\sigma = n'_\sigma n''_\sigma n'''_\sigma n_b \cdot n_k, \quad (2.24)$$

де n'_σ – коефіцієнт, що враховує вплив сили тертя;

n''_σ – коефіцієнт, що враховує вплив зовнішніх параметрів, що визначаються відношенням довжини осередку деформації до середньої висоти розкату і визначається за формулою:

$$n''_\sigma = (\ell_\alpha/h_{cp})^{-0,4} \text{ при } \ell_\alpha/h_{cp} \leq 1;$$

$$n''_\sigma = 1 \text{ при } \ell_\alpha/h_{cp} > 1;$$

n'''_σ – коефіцієнт, що враховує вплив напруження матеріалу при натяжінні, визначається за формулою:

$$n'''_\sigma = 1 - \frac{\sigma_0 + \sigma_1}{2P_{cp}}, \quad (2.25)$$

де σ_0, σ_1 – заднє і переднє натяжіння смуги в осередку деформації;

P_{cp}' – середній контактний тиск, який діє при прокатуванні без натяжіння;

n_b – коефіцієнт, який враховується при прокатуванні тонких смуг.

n_k – коефіцієнт, який враховує форму калібру:

$$n_k = \frac{1 + \frac{2}{3} f \frac{\alpha \ell_\alpha}{\pi h_{cp}}}{1 + \frac{2}{3} f \frac{\ell_\alpha}{h_{cp}}}. \quad (2.26)$$

					КНУ.РБ.136.26.112с-13.02.РТСЛП	Аркуш
						2.15
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Величина α/π характеризує ступінь деформації оброблюваного матеріалу в калібрах. При прокатуванні у квадратах та овальних калібрах таке відношення дорівнює $\alpha/\pi = 0,6 \dots 0,9$.

У випадку гарячого прокатування коефіцієнт n'_σ визначається за наступними залежностями:

- при $\ell_\alpha/h_{CP} < 2$:

$$n'_\sigma = 1 + (1/6)(\ell_\alpha/h_{CP}); \quad (2.27)$$

- при $\ell_\alpha/h_{CP} = 2 \dots 4$:

$$n'_\sigma = \frac{2h_1}{\Delta h(\delta-1)} \frac{h_H}{h_1} \left[\left(\frac{h_H}{h_1} \right)^\delta - 1 \right]; \quad (2.28)$$

- при $\ell_\alpha/h_{CP} > 4$:

$$n'_\sigma = 1 + \frac{1\ell_\alpha}{4h_{CP}}. \quad (2.29)$$

Показник ступень δ визначається за формулою:

$$\delta = 2f\ell_\alpha/\Delta h, \quad (2.30)$$

Відношення висоти смуги у нейтральному перерізі до кінцевої товщини:

$$\frac{h_H}{h_1} = \left[\frac{1 + \sqrt{1 + (\delta^2 - 1)(h_0/h_1)^\delta}}{\delta + 1} \right]^{1/\delta}.$$

Довжина дуги контакту металу з прокатними валками в осередку деформації визначається за формулою:

$$l_d = \sqrt{R \cdot \Delta h}, \text{ мм}; \quad (2.31)$$

де R – радіус прокатних валків, який дорівнює 300 мм.

При прокатуванні в першій прокатній кліті, що має ящиківий калібр, отримаємо:

- довжина осередку деформації дорівнює

$$l_{d1} = \sqrt{300 \cdot 20} = 77,46 \text{ мм} = 0,775 \text{ м};$$

- коефіцієнт, що враховує вплив напруженого стану дорівнює: $\nu = 1,15$;

					КНУ.РБ.136.26.112с-13.02.РТСЛП	Аркуш
						2.16
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- середня ширина розкату дорівнює:

$$b_{cp1} = 0,5 \cdot (100 + 102) = 101 \text{ мм} = 1,01 \text{ м};$$

- середня висота розкату дорівнює:

$$h_{cp1} = 0,5 \cdot (100 + 80) = 90,0 \text{ мм} = 0,95 \text{ м};$$

- коефіцієнт напруженого стану дорівнює:

$$n_{\sigma 2} = 1,0 \cdot 1,11 \cdot 0,9 = 0,99;$$

- середній контактний тиск дорівнює:

$$p_{cp1} = 1,11 \cdot 0,99 \cdot 76 = 77,7 \text{ МПа.}$$

- сила прокатування дорівнює:

$$P_1 = 77,7 \cdot 0,775 \cdot 1,1 = 66,23 \text{ МН}$$

При прокатуванні в другій робочій кліті, що має калібр у формі ребрового овалу отримаємо:

- довжина осередку деформації дорівнює

$$l_{d2} = \sqrt{300 \cdot 17,2} = 71,83 \text{ мм} = 0,718 \text{ м};$$

- коефіцієнт, що враховує вплив напруженого стану дорівнює: $\nu = 1,11$;

- середня ширина розкату дорівнює:

$$b_{cp2} = 0,5 \cdot (80 + 98,8) = 89,4 \text{ мм} = 0,894 \text{ м};$$

- середня висота розкату дорівнює:

$$h_{cp2} = 0,5 \cdot (102,5 + 85,8) = 100,67 \text{ мм} = 1,007 \text{ м};$$

- коефіцієнт напруженого стану дорівнює:

$$n_{\sigma 2} = 1,0 \cdot 1,11 \cdot 0,9 = 0,99;$$

- середній контактний тиск дорівнює:

$$p_{cp2} = 1,11 \cdot 0,99 \cdot 77,7 = 85,3 \text{ МПа.}$$

- сила прокатування дорівнює:

$$P_2 = 85,3 \cdot 0,718 \cdot 0,9 = 55,1 \text{ МН}$$

При прокатуванні в третій прокатній кліті отримаємо:

- довжина осередку деформації дорівнює

$$l_{d3} = \sqrt{300 \cdot 26,67} = 89,4 \text{ мм} = 0,894 \text{ м};$$

					КНУ.РБ.136.26.112с-13.02.РТСЛП	Аркуш
						2.17
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- коефіцієнт, що враховує вплив напруженого стану дорівнює: $\nu = 1,11$;
- середня ширина розкату дорівнює:

$$b_{cp3} = 0,5 \cdot (85,8 + 118,5) = 102 \text{ мм} = 1,02 \text{ м};$$
- середня висота розкату дорівнює:

$$h_{cp3} = 0,5 \cdot (85,5 + 72,0) = 43,74 \text{ мм} = 0,437 \text{ м};$$
- коефіцієнт напруженого стану дорівнює:

$$n_{\sigma3} = 1,0 \cdot 1,11 \cdot 0,9 = 0,99;$$
- середній контактний тиск дорівнює:

$$p_{cp3} = 1,11 \cdot 0,99 \cdot 85,3 = 93,7 \text{ МПа.}$$
- сила прокатування дорівнює:

$$P_3 = 93,7 \cdot 0,894 \cdot 0,9 = 75,4 \text{ МН.}$$

При прокатуванні у четвертій прокатній кліті отримаємо наступне:

- довжина осередку деформації дорівнює

$$l_{d4} = \sqrt{300 \cdot 38,5} = 107,5 \text{ мм} = 1,07 \text{ м};$$
- коефіцієнт, що враховує вплив напруженого стану дорівнює: $\nu = 1,11$;
- середня ширина розкату дорівнює:

$$b_{cp4} = 0,5 \cdot (72 + 80) = 82 \text{ мм} = 0,82 \text{ м};$$
- середня висота розкату дорівнює:

$$h_{cp4} = 0,5 \cdot (118,5 + 80) = 99,25 \text{ мм} = 0,99 \text{ м};$$
- коефіцієнт напруженого стану дорівнює:

$$n_{\sigma4} = 1,0 \cdot 1,11 \cdot 0,9 = 0,99;$$
- середній контактний тиск дорівнює:

$$p_{cp4} = 1,11 \cdot 0,99 \cdot 93,7 = 102,9 \text{ МПа.}$$
- сила прокатування дорівнює:

$$P_4 = 102,9 \cdot 1,07 \cdot 0,82 = 90,2 \text{ МН}$$

Дані розрахунку занесемо в таблицю 2.2.

					КНУ.РБ.136.26.112с-13.02.РТСЛП	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		2.18

Таблиця 2.2 – Результати розрахунку швидкісних та силових параметрів

№ проходу	l_a , м	h_{cp} , м	b_{cp} , м	p_{cp} , МПа	P , Мн	v , м/с
Заготовка	-	1,00	1,00	-	-	2,8
1	0,775	0,95	1,01	77,7	66,23	3,416
2	0,718	1,007	0,894	85,3	55,1	4,03
3	0,894	0,437	1,02	93,7	75,4	4,76
4	1,07	0,99	0,82	102,5	90,2	5,57

З таблиці видно, що збільшується середній контактний тиск через те, що при проходженні між прокатними клітями температура матеріалу зменшується, що веде до збільшення його опору пластичній деформації. Прослідковується збільшення сили прокатування збільшується через те, що відбувається зміцнення металу при проході від кліті до кліті та збільшується площа контакту металу з прокатними валками в осередку деформації. Швидкість прокатування збільшується.

ВИСНОВКИ

У випускній кваліфікаційній роботі досягнуто мету та виконано основні завдання роботи. Було розроблено перспективну технологію суміщення лиття-прокатування для виготовлення круга діаметром 80 мм.

Проаналізовано призначення круглого прокату, що має діаметр поперечного перерізу 80 мм та визначено матеріал для його виготовлення, де перевагу надано низьковуглецевій сталі марки Сталь 20. Такий матеріал має високу міцність, стійкість та добре піддається механічній обробці.

Досліджено способи суміщення лиття-прокатування, визначено їх переваги та недоліки. В роботі запропоновано для отримання потрібного виробу використовувати безперервно-литу заготовку, що має квадратну форму поперечного перерізу розмірами 100x100 мм.

Визначено обладнання для безперервної розливки сталі, де надано перевагу машині криволінійного типу.

Визначено послідовність операцій для отримання виробу круглого поперечного перерізу діаметром 80 мм. Для забезпечення процесу лиття-прокатування пропонується в одну лінію з машиною безперервної розливки встановити робочі кліті прокатного стану. Визначено, що потрібно чотири прокатні кліті, розташування яких чергується вертикальне з горизонтальним. Встановлено форму калібрів прокатних клітей. Розраховано калібруванні прокатних валків, яке забезпечує отримання вірного профілю.

Встановлено швидкісні умови прокатування, де видно, що з швидкість обробки збільшується за рухом розкату.

Такі пропозиції дозволяють зменшити енергетичні витрати на 20 %.

					КНУ.РБ.136.26.112с-13.В			
Вим.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата	ВИСНОВКИ	Літ.	Аркуш	Аркушів
Розробив	Сухотін						1	1
Перевірив	Чубенко							
Рецензент								
Н. контр.	Чубенко							
Затвердив	Бабошко					Кафедра МЧМЛВ гр. МТ-23-1ск		

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Воденнікова О.С. Розливка сталі та спеціальні модифікатори, лігатури: конспект лекцій для здобувачів ступеня вищої освіти бакалавра спеціальності «Металургія» освітньо-професійної програми «Металургія». Запоріжжя: Запорізький національний університет, 2021. 157 с.

2. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство. Практикум [Текст]: навч. посіб. / В.В. Попович, А.І. Кондир, Е.І. Плешаков та ін. Львів: Світ, 2009. 551 с. [ISBN 978-966-603-401-7](https://doi.org/10.26907/2542-0419.2009.551).

3. ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг». Прес-релізи URL: <https://ukraine.arcelormittal.com/index.php?id=10&pr=340> (дата звернення: 01.03.2021).

4. Технологія розливки сталі /О.П. Чуванов, В.С. Мамешин, А.С. Гриценко та ін. Дніпропетровськ: НМетАУ, 2012. 186 с.

5. Чубенко В.А., Хіноцька А.А. Технологія прокатного виробництва: навч. посібник. Кривий Ріг: Видавець ФОП Чернявський Д.О., 2017. 170 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. Чубенко В.А., Хіноцька А.А., Чубенко В. Дослідження ефективності суспензійної розливки рідкої сталі у ливарно-прокатні кліті для виготовлення тонких смуг. *Гірничий вісник*. Кривий Ріг, 2016, Випуск 101. С. 183-186.

8. Василев Я.Д., Мінаєв О.А. Теорія поздовжньої прокатки: підручник. Донецьк: УНІТЕХ, 2009. 488 с.

9. Воденніков С.А., Падалка В.П., Воденнікова О.С. Технологія розливання і кристалізації сталі: навч.-метод. посіб. Запоріжжя: ЗДІА, 2011. 188 с.

					КНУ.РБ.136.26.112с-13.Л			
Вим.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата	ЛІТЕРАТУРА	Літ.	Аркуш	Аркушів
Розробив	Суходін							
Перевірив	Чубенко						1	3
Рецензент						Кафедра МЧМЛВ гр. МТ-23-1ск		
Н. контр.	Чубенко							
Затвердив	бабошко							

10. 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.

11. Казачков О.І., Мосейко Ю.В., Громак Г.А. Спеціальні феросплави лігатури і модифікатори: навч.-метод. посіб. для студ. спец. 6.05040101 «Металургія чорних металів» всіх форм навчання. Запоріжжя: ЗДІА, 2013. 112 с.

12. Полішко С.О., Кушнір М.А., Татарко Ю.В., Санін А.Ф. Вплив модифікування на характеристики маловуглецевої сталі Ст1кп та колісної КП-Т. *Наука та прогрес транспорту*. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, 2013. Вип. 3. С. 60-66.

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

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

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

16. 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.

17. Інтегровані технології обробки матеріалів [Текст]: підручник / Е.С. Геворкян, Л.А. Тимофеева, В.П. Нерубацький та ін. Харків: УкрДУЗТ, 2016. 238 с., рис. 56, табл. 2. ISBN 978-617-654-060-1.

18. Данченко В.М., Гринкевич В.О., Головка О.М. Теорія процесів обробки металів тиском: підручник. Дніпропетровськ: Пороги, 2008. 372 с.

19. Шеремет В.О. та ін. Охорона праці на гірничо-металургійному підприємстві. Навчальний посібник ч. 1. Дн-к., Січ, 2002. 376 с.

					КНУ.РБ.136.26.112с-13.Л	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		2

20. 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.

21. ДСТУ 3008:2015. Інформація та документація. Звіти у сфері науки і техніки. Структура та правила оформлювання. Київ: УкрНДНЦ, 2016. 31 с.

					КНУ.РБ.136.26.112с-13.Л	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		3