

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

КАФЕДРА МЕТАЛУРГІЇ ЧОРНИХ МЕТАЛІВ І ЛИВАРНОГО ВИРОБНИЦТВА

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

Тема роботи: «АНАЛІЗ ТА РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ
ВИГОТОВЛЕННЯ БЕЗШОВНИХ СТАЛЕВИХ ТРУБ
ЗОВНІШНІМ ДІАМЕТРОМ 80 мм»

Виконав:
студентка групи МТ-21-1 _____ Ірина ДИМНІЧ

Керівник випускної роботи _____ Вікторія ЧУБЕНКО

Нормоконтролер _____ Вікторія ЧУБЕНКО

Завідувач кафедри _____ Сергій САВЕЛЬЄВ

Кривий Ріг
2025 р.

КРИВОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет: гірничо-металургійний

Кафедра металургії чорних металів і ливарного виробництва

Освітньо-кваліфікаційний рівень: бакалавр

Спеціальність: 136 Металургія

Затверджую

Зав. кафедрою _____

« ____ » _____ 2025 р.

ЗАВДАННЯ

на випускну атестаційну роботу бакалавра

_____ **Димніч Ірини Олександрівни** _____

1. Тема роботи: Аналіз та розробка технологічного процесу виготовлення безшовних сталевих труб зовнішнім діаметром 80 мм _____

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

затверджено наказом по КНУ від «__04__» _____ 03 _____ 2025 р. №__149с__

2. Строк подання роботи студентом «__01__» _____ 06 _____ 2025 р.

3. Вихідні дані до роботи: Безшовна труба зовнішнім діаметром 80 мм; трубопрокатний агрегат; круглі калібри; матеріал труби 40Х, температура прокатування не менше 900°C, початкова заготовка діаметром 90 мм, Температура нагрівання 1100°C.

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

1. Аналіз використання безшовних труб та процесів їх виготовлення: загальна характеристика, призначення, класифікація, матеріал для виготовлення, обладнання, загальні технологічні операції, задачі дослідження.

2. Розробка технологічного процесу виготовлення гарячкатаної безшовної труби зовнішнім діаметром 80 мм: підготування початкового матеріалу, визначення параметрів та коефіцієнтів деформації, устаткування безперервного трубопрокатного стану, кінематика процесу прокатування, енергосилові параметри, правка безшовних труб.

5. Перелік графічного матеріалу

Загальний вигляд безшовних труб. Технологічна послідовність виготовлення безшовних труб. Схема радіальної машини безперервної розливки для отримання круглих заготовок. Технологічна схема виготовлення труби. Прошивання заготовки на прошивному стані з дисковими прокатними валками. Калібри двовалкових трубопрокатних станів. Схема овального калібру та епюра

розподілу швидкості металу по калібру. Схема розташування прокатних валків безперервного трубопрокатного стану. Загальний вигляд робочої кліті безперервного прокатного стану. Розподіл режимів прокатування труби. Схема технологічного процесу виправлення круглої труби на косовалкових багатороликових правильних машинах.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Номер етапу	Назва етапів виконання бакалаврської роботи	Термін виконання етапів
1	Збір і обробка необхідного матеріалу для виконання кваліфікаційної роботи	20.01-29.01.2025
2	Загальна характеристика безшовних труб: призначення, класифікація	01.02-10.02.2025
3	Матеріали та обладнання для гарячого прокатування безшовних труб	10.02-25.05.2025
4	Загальні технологічні операції виготовлення гарячекатаних труб. Задачі дослідження	26.02-10.03.2025
5	Розробка технологічного процесу виготовлення гарячекатаної безшовної труби: підготовка початкового матеріалу, прошивання, визначення параметрів та коефіцієнтів деформації	11.03-10.04.2025
6	Устаткування безперервного трубопрокатного стану: основне, допоміжне	11.04-30.04.2025
7	Кінематика процесу повздовжнього прокатування труби в калібрах. Визначення енергосилових параметрів. Правка безшовних труб	01.05-20.05.2025
8	Оформлення роботи та креслення	21.05-31.05.2025
9	Перевірка роботи на плагіат	01.06-15.06.2025
10	Захист кваліфікаційної роботи	23.06.2025

Дата видачі завдання «__20__»_____01_____2025 р.

Здобувач вищої освіти _____ Ірина ДИМНІЧ
(підпис)

Керівник випускної
кваліфікаційної роботи _____ Вікторія ЧУБЕНКО
(підпис)

РЕФЕРАТ

до випускної кваліфікаційної роботи бакалавра на тему:
«Аналіз та розробка технологічного процесу виготовлення безшовних
сталевих труб зовнішнім діаметром 80 мм»

Пояснювальна записка: 57 стор., 4 табл., 21 рис., 16 джерел.

Об'єкт дослідження: прокатування сталевих безшовних труб.

Предмет дослідження: процеси гарячого прокатування сталевих безшовних труб на безперервному трубопрокатному агрегаті.

Мета роботи: розробити сучасну технологію виготовлення сталеві безшовної труби.

Методи дослідження: теоретичний аналіз процесу прокатування та роботи трубопрокатних агрегатів, розрахунок калібрувань та енергосилових параметрів.

Результати роботи: виконано аналіз процесів гарячого прокатування безшовних труб, виявлено послідовність операцій, що забезпечують отримання безшовних труб, визначено трубопрокатні агрегати, що застосовують для виробництва безшовних труб, проаналізовано роботу безперервного трубопрокатного агрегату, визначено його переваги та недоліки, виявлено необхідні калібри для отримання якісної труби, виявлено розподіл зусиль та деформацій, що дозволяють отримати якісний виріб, визначено витрати енергії на отримання труби.

ГАРЯЧЕ ПРОКАТУВАННЯ, ПРОШИВАННЯ, БЕЗПЕРЕРВНИЙ
ТРУБОПРОКАТНИЙ АГРЕГАТ, ПРОКАТНІ ВАЛКИ, РЕЖИМИ ОБРОБКИ,
ВИТРАТИ ЕНЕРГІЇ.

					КНУ.РБ.136.25.149с-07.Р						
Вим.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата							
Розробив		Димніч			РЕФЕРАТ			Літ.	Аркуш	Аркушів	
Перевірив		Чубенко								1	1
Рецензент								Кафедра МЧМЛВ гр. МТ-21-1			
Н. контр.		Чубенко									
Затвердив		Савельєв									

Перв. примен.	№ строки	Формат	Обозначение	Наименование	Кол. листов	№ экз.	Примечание
Справ. №	1						
	2	A4	КНУ.РБ.136.25.14 9с-07.ПЗ	Пояснювальна записка	57		
	3			Графічна частина			
	4			(Презентація)			
	5	A4	КНУ.РБ.136.25.14 9с-07.01	Загальний вигляд безшовних			
	6			труб	1		
	7	A4	КНУ.РБ.136.25.14 9с-07.02	Технологічна послідовність виготовлення			
	8			безшовних труб	1		
	9	A4	КНУ.РБ.136.25.14 9с-07.03	Схема радіальної машини			
	10			безперервної розливки	1		
	11	A4	КНУ.РБ.136.25.14 9с-07.04	Технологічні операції для			
	12			отримання труб	1		
Подп. и дата	13	A4	КНУ.РБ.136.25.14 9с-07.05	Технологічна схема			
	14			виготовлення труди	1		
	15	A4	КНУ.РБ.136.25.14 9с-07.06	Прошивання заготовки	1		
	16	A4	КНУ.РБ.136.25.14 9с-07.07	Калібри двовалкових			
	17			трубопрокатних станів	1		
	18	A4	КНУ.РБ.136.25.14 9с-07.08	Схема овального калібру та			
	19			еюра розподілу швидкості	1		
	20	A4	КНУ.РБ.136.25.14 9с-07.09	Схема розташування			
Инд. № дубл.	21			прокатних валків	1		
	22	A4	КНУ.РБ.136.25.14 9с-07.10	Загальний вигляд робочої кліті	1		
	23	A4	КНУ.РБ.136.25.14 9с-07.11	Розподіл режимів прокатування труди	1		
Взам. инв. №	24	A4	КНУ.РБ.136.25.14 9с-07.12	Схема технологічного процесу випроблення	1		
Подп. и дата							
Инв. № подл.					КНУ.РБ.136.25.14 9с-07.ВО		
	Изм. Лист	№ докум.	Подп.	Дата			
	Разраб.	Димніч			Відомість об'єму матеріалів кваліфікаційної роботи Чертеж общего вида		
	Проб.	Чуденко					
Н.контр.	Чуденко			кафедра МЧМ/ІВ група МТ-21-1			
Утв.	Савельєв						
					Лит.	Лист	Листов
					р δ	1	1

Копировал

Формат A4

Копировал

Формат А4

ЗМІСТ

	Стор.
РЕФЕРАТ.....	4
ВІДОМІСТЬ МАТЕРІАЛІВ.....	5
ВСТУП.....	7
1 АНАЛІЗ ВИКОРИСТАННЯ БЕЗШОВНИХ ТРУБ ТА ПРОЦЕСІВ ЇХ ВИГОТОВЛЕННЯ.....	8
1.1 Загальна характеристика безшовних труб.....	8
1.1.1 Призначення безшовних труб.....	8
1.1.2 Класифікація труб.....	10
1.2 Матеріал для виготовлення безшовних гарячекатаних труб.....	11
1.3 Обладнання для гарячого прокатування безшовних труб.....	13
1.4 Загальні технологічні операції виготовлення гарячекатаних труб...	19
1.5 Задачі дослідження.....	31
2 РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ГАРЯЧЕКАТАНОЇ БЕЗШОВНОЇ ТРУБИ ЗОВНІШНІМ ДІАМЕТРОМ 80 мм.....	32
2.1 Гаряче прокатування безшовних труб на безперервному трубопрокатному агрегаті.....	32
2.2 Підготування початкового матеріалу для виготовлення безшовної труби.....	34
2.3 Прошивання суцільної заготовки.....	35
2.4 Визначення параметрів та коефіцієнтів деформації при гарячому прокатуванні труби.....	37
2.5 Устаткування безперервного трубопрокатного стану.....	39
2.5.1 Основне обладнання безперервного трубопрокатного стану...	39
2.5.2 Допоміжне обладнання безперервного трубопрокатного стану.....	42
2.6 Кінематика процесу повздовжнього прокатування труби в калібрах.....	43
2.7 Енергосилові параметри при прокатуванні безшовних труб.....	48
2.8 Правка безшовних труб.....	52
ВИСНОВКИ.....	55
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	56

					КНУ.РБ.136.25.149с-07.3									
Вим.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата	ЗМІСТ					Літ.	Аркуш	Аркушів		
Розробив	Димніч												1	1
Перевірив	Чубенко													
Рецензент														
Н. контр.	Чубенко													
Затвердив	Савельєв													
					Кафедра МЧМЛВ гр. МТ-21-1									

ВСТУП

Металургія чорних металів і сплавів займається виробництвом різних сплавів на основі заліза, що йдуть на задоволення потреб народного господарства. З таких сплавів виготовляють безліч різних виробів, яких відносяться різні профілі.

Велику частку з цих профілів займають труби, які використовують в багатьох галузях народного господарства: в будівництві, в комунальному господарстві, машинобудуванні, в сільському господарстві та авіації, в нафтовій і харчовій і фармацевтичній хімічній промисловості, використовують для створення верстатів, автомобілів, тракторів, в будівельних спорудах та огорожах. З труб виготовляють системи опалення, водопостачання, газопостачання, каналізаційні канали, використовують для перекачки нафти тощо

Перевага надається сталевим трубам через те, що вони довговічні, надійні в роботі, прості в обслуговуванні.

Робота спрямовано на розробку сучасного технологічного процесу виготовлення сталеві безшовної сталеві труби, яка має зовнішній діаметр 80 мм, дослідити роботу обладнання, що застосовують для виготовлення таких труб.

Для цього потрібно проаналізувати способи виготовлення безшовних труб і визначити раціональний спосіб. Визначити послідовній технологічних операцій, що використовується для виготовлення якісної труби потрібних розмірів та відповідними вимогами за якістю. Визначити обладнання і інструмент, що дозволяє виконати ці операції з високою продуктивністю процесу, визначити режими обробки та енергосилові параметри, що було витрачено на процес.

					КНУ.РБ.136.25.149с-07.ВС								
Вим.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата									
Розробив		Димніч			ВСТУП				Літ.	Аркуш	Аркушів		
Перевірив		Чубенко									1	1	
Рецензент									Кафедра МЧМЛВ гр. МТ-21-1				
Н. контр.		Чубенко											
Затвердив		Савельєв											

1 АНАЛІЗ ВИКОРИСТАННЯ БЕЗШОВНИХ ТРУБ ТА ПРОЦЕСІВ ЇХ ВИГОТОВЛЕННЯ

1.1 Загальна характеристика безшовних труб

1.1.1 Призначення безшовних труб

Труби широко використовують в різних галузях народного господарства. До них пред'являють певні вимоги, які залежать від умов експлуатації та характеру використання.

В сучасний період труби виготовляють на підприємствах: Дніпровський трубний завод (Дніпро, Україна), Інтерпайп НІКО ТБЮБ (Нікополь, Україна), Інтерпайп НМТЗ (Новомосковськ, Україна), Нижньодніпровський трубопрокатний завод (Дніпро, Україна), Трубний завод «Трубосталь» (Коростень, Житомирська обл., Україна), Український трубний завод (Дніпро, Україна) тощо.

В залежності від характеру використання трубну продукцію поділяють на труби для трубопроводів, для буріння, для машинобудування.

За конструкцією труби поділяють на гладкі та нарізні. Гладкі труби використовують для трубопроводів та для машинобудування. Нарізні труби використовують для буріння та експлуатації свердловин та частина труб використовується у трубопроводах.

За методом виготовлення труби поділяють на зварні, безшовні та холоднодеформовані.

Безшовні труби мають підвищену міцність та надійність. Їх широко використовують при виготовленні газових балонів, в нафтовій галузі, в автомобілебудуванні, в конструкціях летальних апаратів та інших галузях

					КНУ.РБ.136.25.149с-07.01.АВБТПВ				
Вим.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата	АНАЛІЗ ВИКОРИСТАННЯ БЕЗШОВНИХ ТРУБ ТА ПРОЦЕСІВ ЇХ ВИГОТОВЛЕННЯ	Літ.	Аркуш	Аркушів	
Розробив	Димніч								
Перевірив	Чубенко						1.1	24	
Рецензент						Кафедра МЧМЛВ гр. МТ-21-1			
Н. контр.	Чубенко								
Затвердив	Савельєв								

машинобудування, в хімічній промисловості, у побуті для прокладення водопроводу тощо.

Високоякісні властивості безшовних труб обумовлені наступними чинниками:

- висока міцність труби забезпечується через відсутність зварного шву, якій знижує цей показник; дана властивість забезпечує надійність в роботі труби через те, що виключається можливість її розривання при підвищенні тиску всередині труби, цим самим підвищується термін служби труби;
- безшовні труби здатні працювати при високих температурах без деформації та втрати властивостей;
- мають достатньо високу стійкість до механічних пошкоджень та до впливу агресивних середовищ, на піддаються ржавінню, корозії, тріщинам;
- досягається гладка поверхня та рівномірна товщина труби, що забезпечує рівномірний потік гаду та рідини.

В залежності від призначення виготовляють зовнішнім розміром від 25 мм до 750 мм з товщиною стінки від 2,5 мм до 75 мм.



Рисунок 1.1 – Загальний вигляд безшовних труб

					КНУ.РБ.136.25.149с-07.01.АВБТПВ	Аркуш
						1.2
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.1.2 Класифікація труб

Труби класифікують за декількома ознаками:

- за характером використання;
- за конструктивним виконанням;
- за методом виготовлення;
- за розмірами зовнішнього діаметру;
- за відношенням розміру зовнішнього діаметру до товщини стінки.

За характером використання труби поділяють:

- для трубопроводів, які використовуються для транспортування бензину, нафти, води, газу, мастил та кислот; такі труби повинні мати добру стійкість до опору пластичної деформації, стійкість до зварювання, високу корозійну стійкість;
- для будівництва, які служать для виготовлення каркасів будинків, колон, перекриття, спортивних устаткувань, будівельних лісів тощо;
- для буріння скважин, які використовують для передачі обертового руху бурового інструменту; такі труби сприймають статичні та динамічні навантаження, що зростають при поглибленні свердловини, через що до таких труб пред'являють високі вимоги з міцності;
- для машинобудування, які служать для створення котлів та підшипників, корпусних деталей, для виготовлення циліндрів, різних частин машин та агрегатів;
- для посудин та балонів, які здатні працювати під тиском, що дорівнює від 0,1 до 0,4 МПа; такі труби можуть мати круглий поперечний переріз, квадратний або прямокутний.

За конструкцією труби класифікують на:

- гладкі, які в більшості випадків використовують для трубопроводів та у машинобудуванні;
- нарізні, які використовують для буріння та експлуатації скважин а, також, частину труб нарізних використовують для трубопроводів.

					КНУ.РБ.136.25.149с-07.01.АВБТПВ	Аркуш
						1.3
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

За розміром зовнішнього діаметру труби поділяють на:

- капілярні, які мають зовнішні діаметри $\varnothing 0,3 - 4,8$ мм;
- труби малих розмірів, які мають діаметри $\varnothing 5 - 102$ мм;
- середніх розмірів, що мають зовнішні діаметри $\varnothing 102 - 426$ мм;
- великих розмірів, які мають зовнішній діаметр понад 425 мм.

За відношенням зовнішнього діаметру до товщини стінки (D/t) труби поділяють на:

- товстостінні, у яких відношення $D/t=6 - 9$;
- нормальної товщини, у яких $D/t=9 - 20$;
- тонкостінні, у яких $D/t=20 - 50$;
- особливо тонкостінні, у яких $D/t>50$.

За методом виготовлення труби бувають:

- зварні, для яких характерно наступні розміри – діаметр в межах $\varnothing 8-2500$ мм, відношення товщини стінки до діаметру t/d до 0,005, мінімальна товщина стінки дорівнює $t_{\min} = 1$ мм, максимальна товщина стінки $t_{\max} = 16$ мм;
- безшовні, що мають діаметр $\varnothing 25-1550$ мм, відношення товщини стінки до діаметру знаходиться у межах $t/d 0,04-0,05$, у яких мінімальна товщина стінки дорівнює $t_{\min} = 2,5$ мм, максимальна товщина стінки складає $t_{\max} = 76$ мм;
- холоднодеформовані труби, що мають діаметр 0,3-4 мм, мінімальну товщину стінки $t_{\min} = 0,1$ мм та максимальну товщину стінки $t_{\max} = 0,2$ мм).

Безшовна труба, що має зовнішній діаметр 80 мм відноситься до труби загального призначення буде використовуватися в прокладці трубопровідних магістралей.

1.2 Матеріал для виготовлення безшовних гарячекатаних труб

Для виготовлення безшовних гарячекатаних труб використовують переважно якісні сталі. До таких сталей відносять наступні марки: сталь 10, сталь 20, сталь 35, сталь 45 тощо. Такі сталі характеризуються малим вмістом шкідливих домішок, таких, як фосфор та сірка.

					КНУ.РБ.136.25.149с-07.01.АВБТПВ	Аркуш
						1.4
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Також для виготовлення безшовних труб використовують леговані сталі марок 15Х, 40 Х, 30ХСА тощо, корозійностійкі матеріали марок Х20Н14С2, Х18Н12Б тощо, шарикопідшипникові марок ШХ10, ШХ15 тощо.

Труби, що мають зовнішній діаметр 80 мм з товщиною стінки 5 мм відносять до труб малих розмірів. Такі труби мають відношення діаметру до товщини стінки $D/t > 80/5 = 16$, що дає підставу вважати їх трубами нормальної товщини. Вони використовуються при транспортуванні пару, газу, рідких речовин та кислот, можуть використовуватися для перекачування агресивних та небезпечних середовищ. Безшовні труби використовують у хімічній промисловості для створення реакторів та колон, трубопроводів та іншого обладнання, що піддається хімічному впливу. Такі труби використовують у нафтобудуванні для буріння свердловин, для виготовлення насосів та клапанів, для створення трубопроводів тощо. У авіабудуванні безшовні труби використовують для створення фюзеляжів та двигунів літаків, вертольотів та ракет. У кораблебудуванні їх застосовують для створення корпусів, рулів та мачт або інших частин суден та підводних човнів. У космічній галузі безшовні труби використовують для виготовлення космічних апаратів, ракет, супутників та іншого обладнання, що може витримувати екстремальні умови космосу. Такі труби використовують у комунальних мережах з метою подачі води, газу каналізації та опалення в громадських та житлових будинках. Зварні труби використовують у воєнній промисловості з метою створення зброї, броні, боєприпасів та іншого обладнання воєнного призначення.

Для виготовлення безшовної труби загального призначення, що має зовнішній діаметр 80 мм, яка буде використовуватися для прокладки трубопроводів, будемо використовувати матеріал: леговану сталь 40Х.

Характеристики такої сталі наведено в табл. 1.1.

В таблиці 1.1 наведено вміст легованих елементів, що входять до складу сталі 40Х та їх кількість. З таблиці видно, що в сталі шкідливі домішки, такі, як сірка та фосфор присутні в мінімальній кількості.

					КНУ.РБ.136.25.149с-07.01.АВБТПВ	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		1.5

Таблиця 1.1 – Характеристики матеріалу 40 X

C	Si	Mn	Ni	S	P	Cu	Cr
0,36-0,45	0,17-0,35	0,5-0,8	до 0,3	до 0,030	до 0,035	до 0,3	0,8-1,1

Така сталь має границю міцності $\sigma_B=1000$ МПа, границю течії $\sigma_T=1000$ МПа твердість після відпалення HB=217, густину 7820 кг/м³.

1.3 Обладнання для гарячого прокатування безшовних труб

Безшовні труби виготовляють гарячим прокатуванням з суцільної заготовки. Для отримання безшовних труб використовують трубопрокатні агрегати.

Трубопрокатний агрегат – це комплекс машин та механізмів, що забезпечують отримання безшовних труб з суцільної заготовки гарячим прокатуванням та правкою і транспортуванням.

Трубопрокатний агрегат складається з наступних машин та механізмів:

- прошивних прокатних стани;
- розкатні прокатні стани;
- трубопрокатні стани;
- редуційні стани;
- розширювальні прокатні стани;
- нагрівальні печі;
- обкатні машини;
- калібровочні трубопрокатні стани;

Прошивні прокатні стани служать для утворення отвору в суцільній заготовці. Розкатні прокатні стани служать для збільшення отвору, який було отримано на прошивному прокатному стані. Трубопрокатні стани служать для прокатування з товстостінної гільзи труби. Редуційні прокатні стани використовують для зменшення діаметру отриманої труби. Розширювальні прокатні стани служать для збільшення діаметру труби. Для нагрівання заготовки перед прокатуванням використовують нагрівне обладнання. Для

					КНУ.РБ.136.25.149с-07.01.АВБТПВ	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		1.6

покращення геометричної форми отриманої труби використовують обкатні машини. Для покращення якості зовнішньої поверхні труби використовують калібрувальні прокатні стани.

В якості основної характеристики трубопрокатного агрегату використовують максимальний зовнішній діаметр труби, що можливо прокатати на цьому прокатному стані, наприклад, трубопрокатний агрегат з автоматичним станом 140 показує те, що у складі трубопрокатного агрегату є автоматичний прокатний стан, який забезпечує отримання безшовних труб, що мають зовнішній діаметр до 140 мм. В деяких випадках в якості характеристики трубопрокатного агрегату використовують мінімальний та максимальний діаметр труб, що прокатуються, наприклад, трубопрокатний агрегат з безперервним прокатним станом 30-102 характеризує те, що в складі трубопрокатного агрегату є безперервний прокатний стан, який забезпечує отримання труб, що мають зовнішній діаметр від 30 мм до 102 мм.

Усі трубопрокатні агрегати поділяють на декілька видів:

- автоматичні трубопрокатні агрегати;
- безперервні трубопрокатні агрегати;
- пілігрімові трубопрокатні агрегати;
- трубопрокатні агрегати з тривалковими прокатними клітьми.

Більш перспективним для отримання безшовних труб гарячим прокатуванням є безперервний трубопрокатний агрегат. Такий трубопрокатний агрегат використовується для отримання безшовних труб, що мають зовнішній діаметр від 16 мм до 426 мм і товщину стінки від 2,5 мм до 25 мм. Матеріалом для виготовлення таких труб служить вуглецева та легована сталь. Особливістю виготовлення безшовних труб на безперервному прокатному агрегаті є те, що пластична деформація матеріалу труби відбувається одночасно у декількох прокатних клітьх. Прокатування відбувається з використанням довгої оправки.

Для прокатування труб на безперервному трубопрокатному агрегаті використовують прошиті гільзи на прошивному прокатному стані або прошиті з використанням прошивного пресу.

					КНУ.РБ.136.25.149с-07.01.АВБТПВ	Аркуш
						1.7
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Прокатування на безперервному прокатному стані відбувається на довгій оправці одночасно в декількох прокатних клітках.

Безперервний прокатний стан має у своєму складі від 7 до 9 робочих клітей дуо. Осі прокатних валків безперервного трубопрокатного стану розташовано під кутом 90° один до одного.

Процес отримання труби гарячим прокатуванням з використанням безперервного трубопрокатного агрегату має свою переваги до яких відносять наступне:

- існує можливість отримання труб великої довжини, що досягає 33 м^4 ;
- може бути досягнена висока швидкість деформації, що досягає $6,5 \text{ м/с}$;
- присутня всебічна деформація трубної заготовки, що забезпечує високу якість внутрішнього шару труби.

На автоматичних трубопрокатних агрегатах є можливість отримати безшовну труби, що мають зовнішній діаметр від 57 мм до 426 мм і товщину від 3 мм до 30 мм.

Для отримання безшовної труби на автоматичному трубопрокатному агрегаті в якості вихідного матеріалу використовують заготовки круглого поперечного перерізу. Ці заготовки можна отримати на трубо заготовочних прокатних станах або на крупносортових. Трубні заготовки повинні мати діаметр такий, що мало відрізняється від діаметру готової труби.

Автоматичний прокатний стан має у своєму складі нереверсивну прокатну кліть. Через це при прокатуванні, отриману трубу потрібно повертати на передню сторону кліті. Таке повертання на автоматичному прокатному стані відбувається у автоматичному режимі з використанням роликів зворотної подачі. Напрямок обертання таких роликів в протилежному напрямку до напрямку обертання прокатних валків. Для повертання трубного матеріалу у вихідне положення верхній валок автоматично підіймається при допомозі клиноподібного устаткування. Завдяки цьому відбувається збільшення просвіту в калібрі, за допомогою якого відбувається збільшення простору в калібрі, що дозволяє виконати проходження труби у зворотному напрямку.

					КНУ.РБ.136.25.149с-07.01.АВБТПВ	Аркуш
						1.8
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Умови прокатування на автоматичному трубопрокатному агрегаті досить важкі, що викликає швидке зношення оправки, через це її потрібно регулярно змінювати.

У той час, коли трубна заготовка повернеться на передній бік прокатної кліті, оправку потрібно зняти зі стрижня та встановити нову оправку. Після цього труба повертається на 90° , а верхній прокатний валок цієї ж прокатної кліті опускається у своє робоче положення. Далі здійснюється наступний прохід в такій самій послідовності.

На трубопрокатних агрегатах пілігримового прокатування процес обробки відбувається періодично. На такому агрегаті отримують товстостінні труби, що мають зовнішній діаметр від 50 мм до 550 мм і товщину стінки від 2,25 мм до 50 мм.

При прокатуванні безшовних труб на пілігримових прокатних станах цикл деформації трубної заготовки здійснюється за кожне обертання прокатних валків, які мають змінний радіус в калібрі. Напрямок обертання прокатних пілігримових валків протилежній напрямку течії металу в осередку деформації, за кожен прохід може деформуватися невелика частина ділянки заготовки, що має назву об'єм подачі.

Такий процес має деякі переваги:

- при прокатуванні безшовних труб відбувається великий коефіцієнт, який може дорівнювати 15;
- існує можливість виготовлення товстостінної труби;
- існує можливість виготовлення безшовних труб профільного призначення: квадратних, шестигранних, конічних, ступінчастих тощо;
- низька собівартість виготовлення безшовних труб.

В якості початкового матеріалу при виготовленні безшовних труб на пілігримових трубопрокатних агрегатах використовують катані або литі заготовки.

					КНУ.РБ.136.25.149с-07.01.АВБТПВ	Аркуш
						1.9
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Пілігримовий трубопрокатні агрегат складаються з наступних машин та механізмів:

- двох нагрівних печей;
- горизонтального або вертикального прошивного пресу;
- кільцевої печі для підігріву матеріалу;
- двох пілігримових прокатних клітей;
- ріжучих устаткувань;
- калібрувальний стан;
- редуційний стан.

Процес прокатування безшовних труб на пілігримових прокатних станах має свої особливості:

- процес прокатування періодичний при якому цикл подачі переміщується з циклом подачі труби і циклом її повертання;
- в процесі деформації використовується калібр, який має змінний поперечний переріз, що зменшується до виходу матеріалу;
- у кожному періоду деформації до калібру надходить гільза, що має менший поперечний переріз ніж попередня;
- напрямок прокатування протилежний напрямку подачі початкового матеріалу.

Трубопрокатні агрегати з тривалковим розкатним станом використовуються при прокатуванні безшовних труб, що мають порівняно товсту стінку. Такі трубопрокатні агрегати забезпечують отримання труб досить високої точності. Використовують матеріали – вуглецеві та леговані сталі.

Тривалкові трубопрокатні агрегати косого прокатування призначені для виготовлення тонкостінних труб, що мають зовнішній діаметр від 40 мм до 200 мм і товщину стінки від 0,25 мм до 0,09 мм. В якості вихідного матеріалу використовують заготовки, що мають круглий поперечний переріз. Для прокатування на таких прокатних станах використовують матеріал марки ШХ15. Такий трубний матеріал в подальшому використовується для виготовлення кілець підшипників.

					КНУ.РБ.136.25.149с-07.01.АВБТПВ	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		1.10

У своєму складі трубопрокатні агрегати з тривалковими прокатними станами мають наступне обладнання:

- прошивний прокатний стан;
- розкатний прокатний стан;
- калібрувальний прокатний стан;

Такий трубопрокатний агрегат з тривалковими прокатними станами має визначені переваги, які полягають в наступному:

- можливість швидкого перестроювання на прокатування труб різного зовнішнього діаметру, при цьому зміна зовнішнього діаметру можлива завдяки наближення або розведенню прокатних валків, товщину стінки труби змінюють заміною оправки;
- можливість отримання безшовних труб високої точності розмірів;
- потрібні невеликі припуски на механічну обробку отриманої труби.

Особливість трубопрокатного агрегату з тривалковими прокатними станами полягає у тому, що осі прокатних валків розташовують під кутом, що дорівнює від 7° до 10° до осі прокатування, кожен прокатний валок встановлено з деяким перекосом до площі симетрії пройма станини. Це явище викликає появу куту схрещування вісей прокатних валків. Цей кут дорівнює від $4,5^\circ$ - $7,5^\circ$. Такі умови забезпечують з'явлення осьової сили прокатування, що викликає можливість поступального руху труби під час прокатування. На вхідному боці тривалкового прокатного стану встановлено устаткування для введення оправки в гільзу з наступною подачею гільзи з оправкою у прокатні валки.

В нашому випадку потрібно отримати трубу зовнішнім діаметром 80 мм, що може забезпечити безперервний трубопрокатний агрегат. До того ж він є самим сучасним та високопродуктивним, мають високу швидкість прокатування, здійснюють рівномірну поперечну деформації труби, що забезпечую отримання труби з якісними внутрішніми властивостями. Такий вид прокатування труби має переваги в порівнянні з іншими трубопрокатними агрегатами

					КНУ.РБ.136.25.149с-07.01.АВБТПВ	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		1.11

1.4 Загальні технологічні операції виготовлення гарячекатаних труб

Заготівлею для гарячекатаних труб служать безперервно-литі злитки або заготовки круглого поперечного перерізу. Технологічні операції забезпечують з суцільної заготовки отримання якісної труби потрібних розмірів. Технологічна послідовність виготовлення безшовної труби ілюструється наступною схемою (рис. 1.2.)



Рисунок 1.2 – Технологічна послідовність виготовлення безшовних труб

На схемі видно, що в якості початкового матеріалу використовується кругла заготовка. Після прошивання отримується пустотіла товстостінна гільза, що має центральний отвір. В подальшому ця гільза розкатується в чорнову трубу, де відбувається потоншення стінки, збільшення довжини труби, зменшення зовнішнього діаметру. Товщина чорнової труби, як правило, не відрізняється від товщини готової труби, а відрізняється зовнішній діаметр і суттєво відрізняється довжина готової труби. Далі відбувається редукування отриманої чорнової труби, що забезпечую отримання готової труби потрібного зовнішнього діаметру, калібрування забезпечую покращення зовнішньої поверхні труби, забезпечення потрібної точності розмірів, якості, граничних відхилень, потрібної форми, при калібруванні відбувається усунення овальності та різнотовщинності труби.

Характер цих технологічних операцій, їх кількість залежить від розмірів потрібної труби, її конфігурації, потрібної якості, якості початкового матеріалу, використовуваного обладнання.

					КНУ.РБ.136.25.149с-07.01.АВБТПВ	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		1.12

Послідовність технологічних операцій з виготовлення гарячекатаної труби показано на схемі 1.3, де наглядно прослідковується її послідовність та перелік.

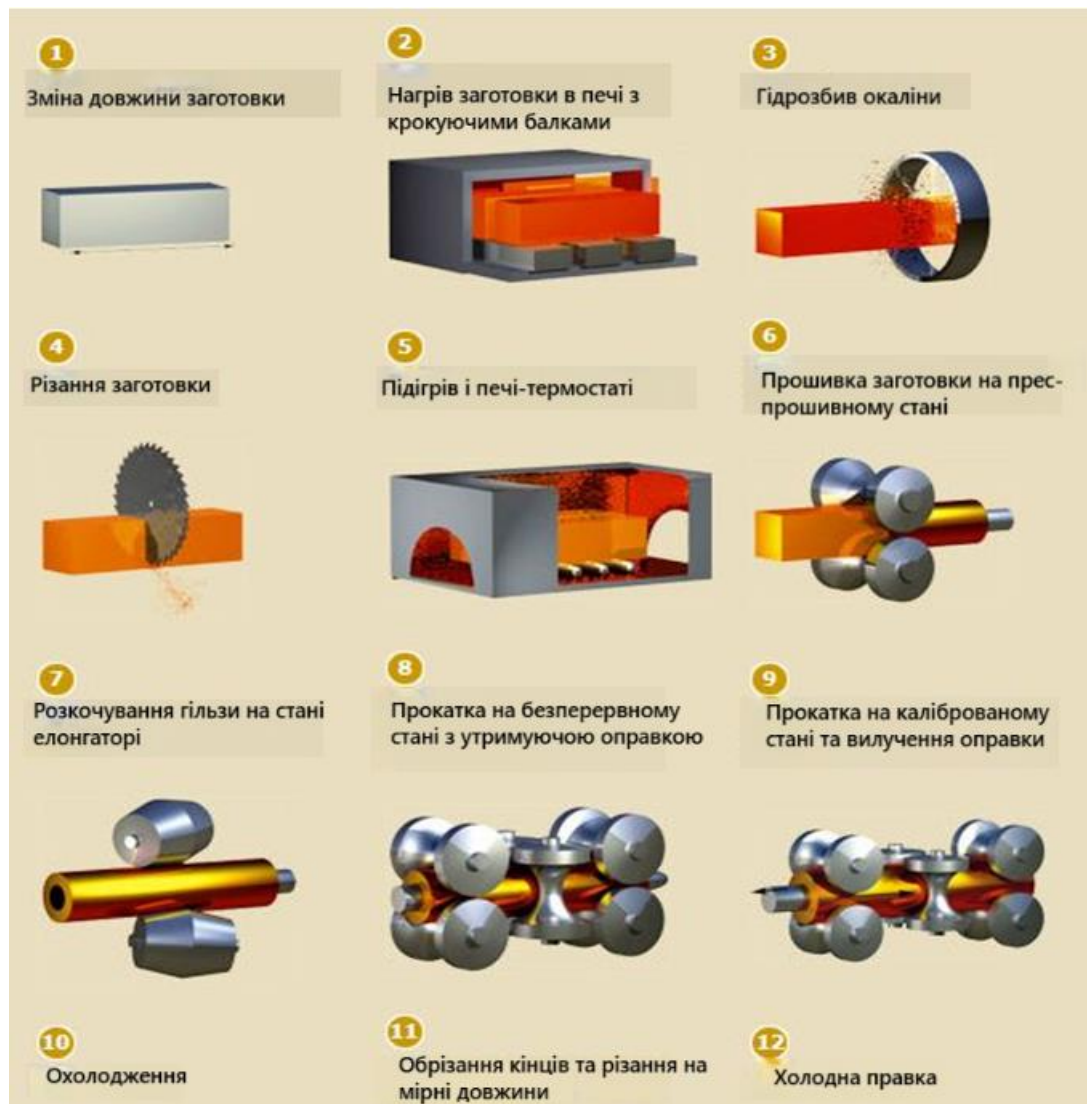


Рисунок 1.3 – Послідовність технологічних операції з виготовлення гарячекатаних труб

Для отримання труби гарячим прокатуванням з суцільної заготовки використовують наступні технологічні операції:

1. Отримання заготовки круглого поперечного перерізу. Такі заготовки можна отримувати на трубозаготовочному прокатному стані або безперервним литтям на машині безперервної розливки сталі, що є більш перспективним способом.

					КНУ.РБ.136.25.149с-07.01.АВБТПВ	Аркуш
						1.13
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2. Огляд отриманої заготовки, її очищення, видалення поверхневих дефектів.

3. Нагрівання заготовки в кільцевій печі з подом, який обертається. Температура нагрівання дорівнює 900-1200°C в залежності від марки матеріалу.

4. Прошивання отвору в суцільній заготовці на прошивному стані в результаті чого отримується чорнова товстостінна гільза.

5. Розкочування гільзи в результаті чого відбувається зменшення товщини її стінки.

6. Калібрування труби, де отримується необхідний зовнішній діаметр труби і потрібна товщина стінки.

7. Правка труби.

8. Охолодження.

9. Усування овальності та різнотовщинності.

10. Розрізання труби на мірні довжини

11. Термічна обробка

12. Контрольні операції.

13. Клеймування та пакування труби.

В якості вихідної заготовки використовують зливки, катані заготовки, заготовки, що отримані на машинні безперервної розливки сталі, заготовки, що отримані відцентровим литтям.

Перспективний спосіб отримання трубної заготовки – це використання процесу безперервної розливки сталі. Перевага надається заготовкам круглого поперечного перерізу. Переважно потрібно використовувати машину безперервної розливки сталі радіального типу.

При виробництві труб з важкодеформуємих матеріалів бажано використовувати відцентрове литво. Але такі заготовки повинні мати занадто великі діаметри.

Підготування вихідних матеріалів до прокатування полягає у видаленні поверхневих дефектів, розрізання на мірні довжини та центрування суцільної заготовки. Стан зовнішньої поверхні початкового матеріалу впливають на якість

					КНУ.РБ.136.25.149с-07.01.АВБТПВ	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		1.14

готової труби через те, що різні дефекти при прокатуванні мають здатність збільшуватися. Через це такі дефекти в початковому матеріалі, як тріщини, плени, закати, волосовини тощо видаляють за допомогою пневматичних зубил або вогневим зачищенням за допомогою спеціально призначених для цього газових горілок або здійснюють зачищення за допомогою наждачних кругів. Розрізання вихідної заготовки на мірні довжини відбувається в холодному стані перед нагріванням за допомогою прес-ножиць або пил.

Прес ножиці використовують з метою розрізання заготовок з вуглецевих та легированих сталей, що мають границю міцності до 600 МПа та діаметр до 140 мм. У тому випадку, якщо заготовка має більший діаметр, то розрізання відбувається на гідравлічних пресах. Найкращу якість торцевої поверхні при розрізанні забезпечують пили, але вони мають дуже низьку продуктивність. Тому їх використовують при розрізанні важкодеформувемих матеріалів.

Центрування заготовки виконують для максимального суміщення носка оправки при прошиванні з віссю заготовки, яка прошивається. Це дозволяє зменшити різнововщинність гільзи і, відповідно, різнововщинність готової труби. Центрування забезпечує на передньому кінці злитка поглиблення. Виконують центрування свердлуванням на механообробному верстаті або видавлюванням пневматичними машинами в нагрітій заготовці.

Перед гарячим прокатуванням безшовних труб використовують операцію нагрівання. Вибір режиму нагрівання впливає на якість отриманої труби, на витрати енергії на процес прокатування. На вибір режиму нагрівання має вплив фізико-механічні властивості матеріалу труби, умови теплопередачі, конструкція печі.

Нагрівання заготовки може здійснюватися в пламених або електричних печах, але при використанні електричних печей потрібно великі витрати електричної енергії, що суттєво збільшує собівартість виробництва труб. Тому переважно використовують пламені печі. Використовують методичний нагрів матеріалу, який полягає у переході вихідних матеріалів з менш високих температурних зон до більш високих.

					КНУ.РБ.136.25.149с-07.01.АВБТПВ	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		1.15

Перевага надається нагріванню в кільцевих печах з подом, що обертається. Температура нагрівання залежить від марки оброблюваного матеріалу і дорівнює $t_n = 0,8 t_{пл}$, це складає 1100-1250°C. Під печі обертається з частотою $1/300 \text{ хв}^{-1}$.

Для виробництва безшовних труб використовують поперечно-гвинтове прокатування з метою прошивання отвору у суцільній заготовці. Під час косоного прокатування вихідній заготовці забезпечують два руху: поступальний та обертальний. Такі рухи виникають завдяки нахилу осі прокатних валків у вертикальній площині до осі заготовки на деякий кут φ , що має назву кута подачі, утворенню куту нахилу прокатних валків до осі заготовки у горизонтальній площині α , що має назву кута розкатки та зміщення положення осі заготовки до осі прокатного стану на величину q . Такі характеристики визначають тип прокатного стану. У тому випадку, коли використовують бочкоподібні валки для прошивання трубної заготовки, то ці показники приймають значення: $\varphi > 0$, $\alpha \approx 0$, $q \approx 0$. У випадку, коли використовують грибовидні прошивні валки, та такі показники приймають значення: $\varphi > 0$, $\alpha > 0$, $q \approx 0$ –; коли використовують чашкоподібні прошивні валки, то кути нахилу приймають значення: $\varphi > 0$, $\alpha < 0$, $q \approx 0$. Коли використовують дискові прошивні валки, то такі показники приймають значення: $\varphi = 0$, $\alpha > 0$, $q > 0$.

Під час прошивання отвору в суцільній заготовці на метал дію зусилля прокатування з боку спрямовуючих устаткувань. Окремі ділянки круглої заготовки отримують деформацію від сил від обох прокатних валків. Виникають пружні та пружно-пластичні деформації, де в центрі заготовки діють в напрямку стискуючих зовнішніх зусиль стискуючі напруження, а в перпендикулярному напрямку діють розтягуючі напруження. Через те, що заготовка має обертальний рух, в її центрі виникає знакозмінна схема напруженого стану. Спочатку утворюється зона пластичної деформації тільки поблизу діючих зусиль, далі при збільшенні зусилля зона пластичної деформації досягає центру трубної заготовки, при подальшому збільшенні деформації утворюється пластична зона, яка перетворюється на зону

					КНУ.РБ.136.25.149с-07.01.АВБТПВ	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		1.16

інтенсивної пластичної деформації, де діють об'ємно-стискуючі напруження та створюється зона ускладненої пластичної деформації, де знаходиться об'ємна різнойменна зона напруження, що має два розтягуючих напруження. Максимальне значення цих напружень дорівнює напруженню відповідними центральним шарам трубної заготовки, що обтискується. Обертання цієї заготовки з одночасним осевим переміщенням приводить до того, що напруження по відношенню до постійного напрямку в металу стає знакозмінним. Таке напруження і веде до руйнування серцевини суцільної заготовки і утворенню осьового отвору в суцільному матеріалі. Таке явище дозволяє виконувати прокатування трубної заготовки на оправці без попереднього руйнування матеріалу.

На рисунку 1.4 наведено робочу лінію прошивного прокатного стану, де показано розташування усіх основних елементів цього обладнання, показано робочу кліть прошивного стану, де видно взаємне розташування пришивних валків стану і стрижня з оправкою завдяки якому і утворюється отвір в суцільній заготовці. Центрувальник дозволяє точно направляти стрижень для створення центрувального отвору.

Прошивний стан з бічною видачою гільз має свої недоліки через велику втрату часу на відведення стрижня і наступне його встановлення у початкове положення, що потрібно виконувати при кожному новому циклі прокатування.

Найбільш сучасними є прошивні стани з осьовою видачою гільзи, що здійснюється фрикційними приводними роликами.

Для прошивання використовують прошивні прокатні стани, які в своєму складі мають два робочих валка. При косому прокатуванні відбувається два види руху: поступальний та обертальний. Такі рухи виконуються одночасно і забезпечуються кутом нахилу прокатних валків до осі заготовки, кут нахилу визначається типом прошивного стану. Схему прошивання суцільного матеріалу за допомогою косого, або поперечно-гвинтового прокатування показано на рисунку 1.5

					КНУ.РБ.136.25.149с-07.01.АВБТПВ	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		1.17

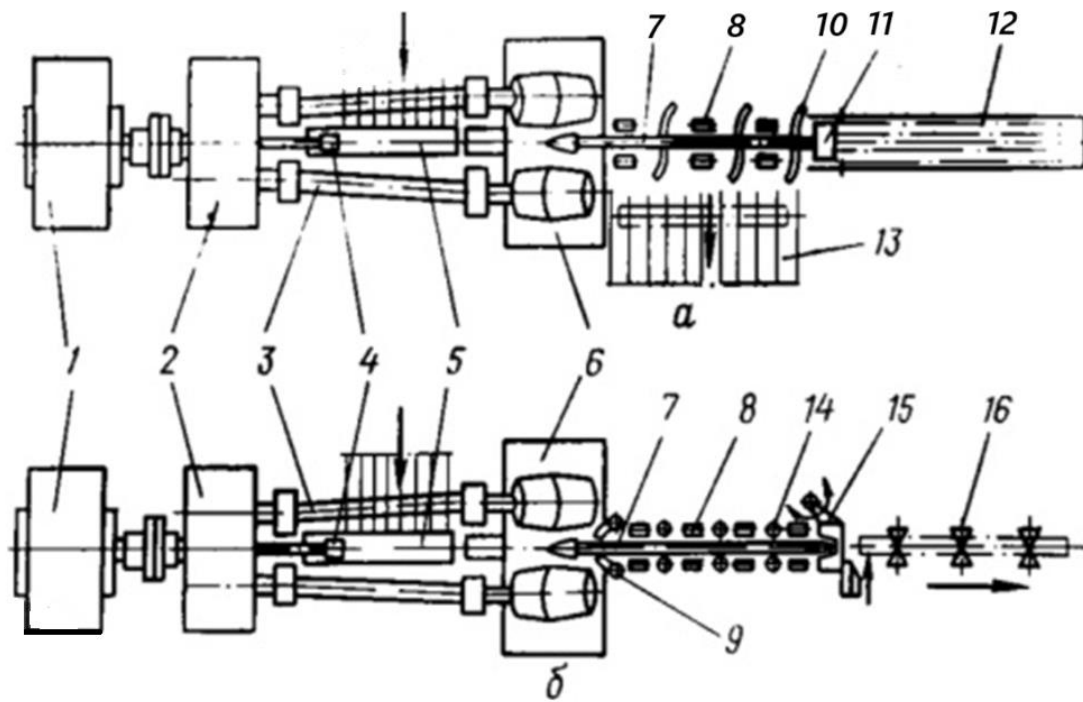


Рисунок 1.4 – Схема робочої лінії прошивного прокатного стану:

a – з видачою гільзи; *б* – з торцевою видачою гільзи: 1 – головний електричний двигун, 2 – шестеренна кліть; 3 – універсальний шпindel; 4 – штовхач заготовки в прокатні валки; 5 – ввідний жолоб; 6 – робоча кліть; 7 – упорний стрижень з оправкою; 8 – центрувач; 9 – механізм перехоплення переднього кінця стрижня; 10 – круговий викидач; 11 – упорний підшипник стрижня; 12 – стіл з направляючими; 13 – похилена решітка; 14 – фрикційні ролики; 15 – упорно регулюючий механізм; 16 – рольганг відведення гільзи

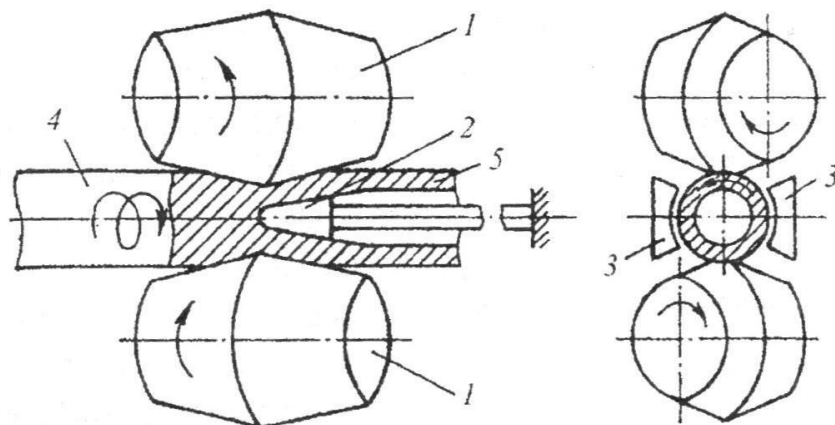


Рисунок 1.5 – Схема поперечно-гвинтового прокатування на прошивному стані для отримання отвору у суцільній заготовці: 1 – прокатні валки; 2 – оправка; 3 – утримуючі лінійки; 4 – трубна заготовка, 5 – готова труба

Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Прошивні стани поділяють за типом робочих валків на:

- прошивні стани, що мають бочкоподібні прокатні валки, або валкові прошивні стани; використовують для прошивання труб, що мають зовнішній діаметр від 350 мм до 559 мм;
- дискові прошивні стани, що мають дискові робочі валки; використовують для прошивання труб, які мають зовнішній діаметр від 80 мм до 140 мм;
- з грибоподібними прокатними валками, які використовуються для прошивання труб з зовнішнім діаметром від 80 мм до 140 мм.

Через те, що нам потрібно отримати трубу, що має зовнішній діаметр 80 мм зупинимося на дискових прошивних станах.

На наведеній схемі показано зміщення осі заготовки відносно площини, яка проходить через вісь прокатних дискових валків.

В якості інструменту для прошивання труб використовують прокатні валки та оправки. Усі оправки періодично змінюються та охолоджуються.

В конструкції оправки можна виділити 4 ділянки (рис. 1.6): носик, головна частина, конічна частина, частина, що має зворотній конус.

Носик оправки забезпечує надійне центрування інструменту та дозволяє підвищити його стійкість. Майже вся пластична деформація при утворенні отвору в суцільній заготовці відбувається на головній ділянці оправки. Конічна частина оправки служить для надійного отримання рівномірної товщини стінки труби. Кут нахилу ϕ_1 приблизно дорівнює 5° . Зворотній конус служить для полегшення виходу оправки з утвореної гільзи, має кут приблизно 5° . Діаметр оправки майже дорівнює внутрішньому діаметру потрібної гільзи з врахуванням величини розкатування.

Процес прошивання отвору може здійснюватися як на короткій, так і на довгій оправці.

Поздовжнє прокатування відбувається на двокільтових прокатних станах з використанням короткої оправки. На довгій оправці здійснюється прокатування на багатокільтових безперервних прокатних станах.

					КНУ.РБ.136.25.149с-07.01.АВБТПВ	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		1.19

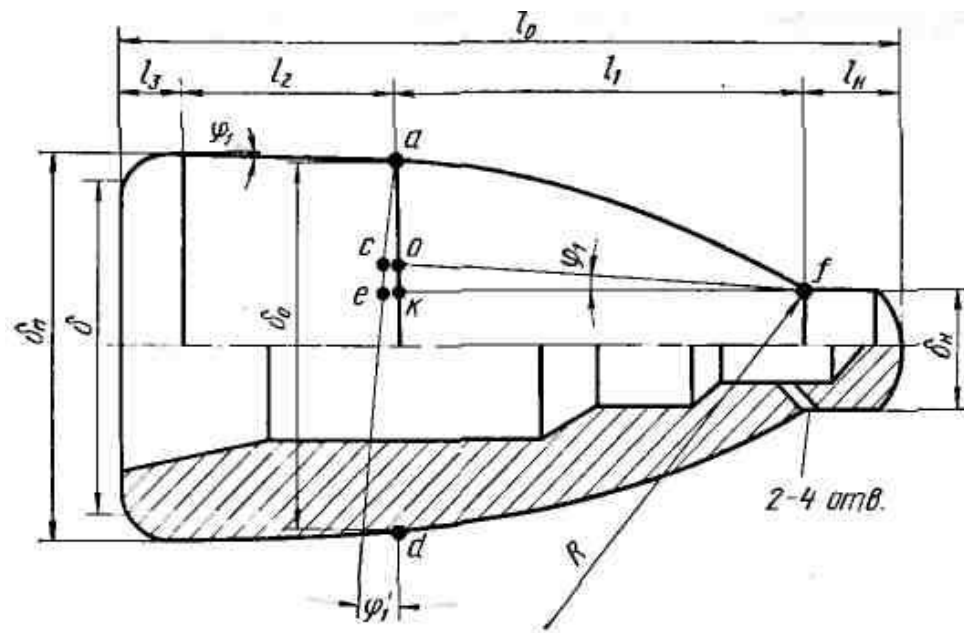


Рисунок 1.6 – Профіль оправки прошивного стану:

l_n – довжина носика оправки, l_1 – довжина головної ділянки,

l_2 – довжина конічної частини, l_3 – довжина зворотного конусу,

R – радіус переходу носика до головної ділянки

На двовалкових трубопрокатних станах зустрічаються калібри чотирьох типів (рис. 1.7):

- круглої форми;
- овальної форми;
- калібри з випуском по дотичній;
- калібри з випуском по дузі окружності.

Калібри круглої та овальної форми використовують при прокатуванні труб на безперервних, редуційних, автоматичних і калібрувальних трубопрокатних станах. З випуском по дотичній та по дузі окружності використовуються при прокатуванні на короткій оправці.

Форма калібрів має вплив на кінематику процесу прокатування, на характер розподіл сил в осередку деформації, на зусилля прокатування, на швидкість виходу готової з прокатних валків.

Кінцеві операції з виготовлення труб – це відділочні операції та контроль якості отриманої продукції.

					КНУ.РБ.136.25.149с-07.01.АВБТПВ	Аркуш
						1.20
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

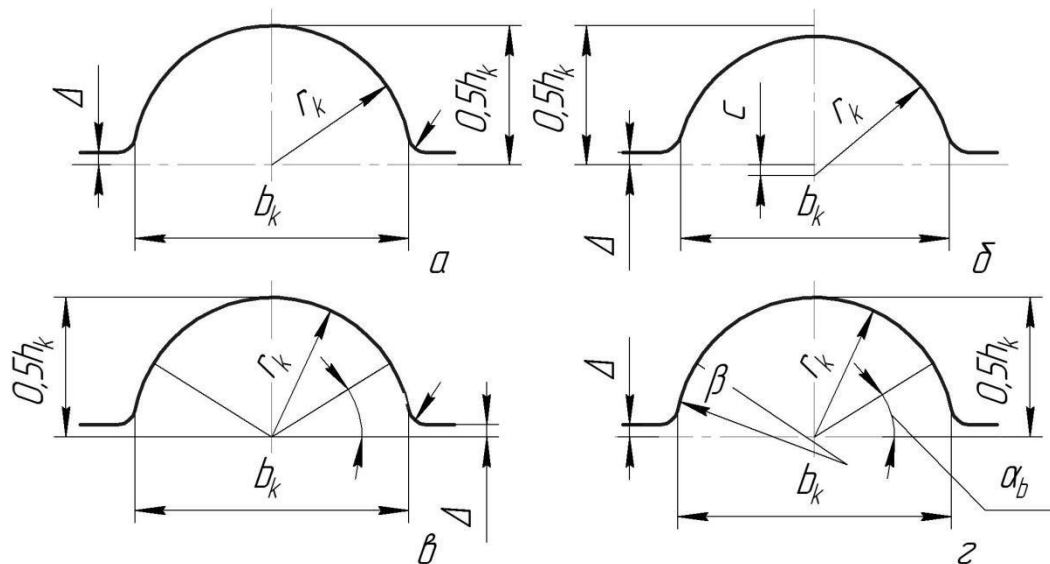


Рисунок 1.7 – Калібри двовалкових трубопрокатних станів:

a – круглі; *б* – овальні; *в* – з випуском по дотичній;

г – з випуском по дузі окружності

Відділочні операції виконуються разом з термічної або хіміко-термічної обробкою. Характер відділочних операцій визначається конструкцією та призначенням труб.

До відділочних операцій відносять наступні операції:

- 1) відрізка кінців обробленої труби;
- 2) розрізання труби на мірні довжини;
- 3) огляд труби на наявність дефектів та видалення їх при наявності;
- 4) правлення отриманої труби;
- 5) у випадку виготовлення нарізних труб виконується обробка їх кінців – нарізання різьби;
- 6) покращення якості зовнішньої поверхні труби, яка зосереджена в обточуванні труб для виготовлення підшипників, шліфування та полірування поверхні труб;
- 7) пакування готової труби.

Для розрізання на мірні довжини використовуються металорізальні верстати з різцевими, фрезовими, дисковими головками. Більш розповсюджені –

					КНУ.РБ.136.25.149с-07.01.АВБТПВ	Аркуш
						1.21
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

верстати з різцевими головками, які поділяють на трубообробна та трубопідрізні. На трубопідрізних верстатах виконується підрізання торцю труби, знімається зовнішня фаска та внутрішні заусенці.

Далі відбувається правка труби, яка враховує комплекс операцій, що дозволяють уникнути відхилення від прямолінійності у поздовжньому напрямку і запобігти утворенню овальності.

Існую декілька методів правки, серед яких:

- одноразовий пружно-пластичний вигин;
- багаторазовий пружно-пластичний вигин;
- розтягування труби.

Одноразовий пружно-пластичний вигин відбувається на правильному пресі (рис. 1.8). Такий прес застосовується для правки тонкостінних, круглих або профільованих труб.

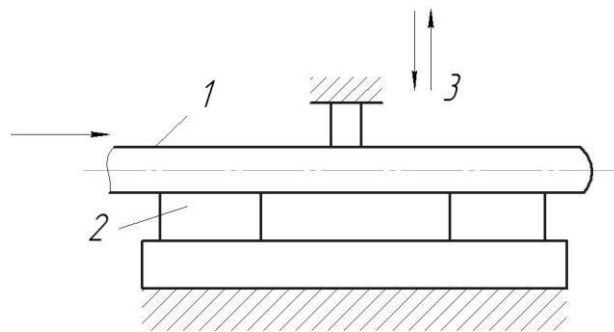


Рисунок 1.8 – Схема одноразового пружно-пластичний вигину на правильному пресі: 1 – труба; 2 – опорні подушки; 3 – пресовий штемпель

Багаторазовий пружно пластичний вигин здійснюється на валково-правильному стані. Він призначений для правки гарячекатаних, холоднодеформованих та зварних труб, що мають зовнішній діаметр до 700 мм. Схема такого правильного стану наведена на рис. 1.9.

Розтягування труби відбувається на правильно-розтяжних машинах схема якої наведена на рис.1.10.

Проаналізувавши наведені схеми дістали висновку, що при виготовленні безшовної труби з зовнішнім діаметром 80 мм гарячим прокатуванням потрібно

					КНУ.РБ.136.25.149с-07.01.АВБТПВ	Аркуш
						1.22
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

надати перевагу багаторазовому пружно-пластичному вигину, через можливість отримання потрібної якості при мінімальних витратах.

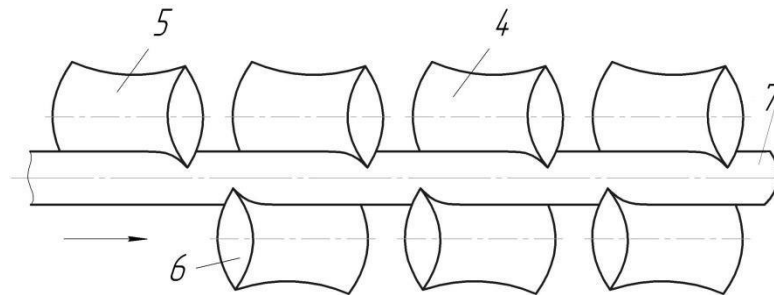


Рисунок 1.9 – Схема багаторазового пружно пластичного вигину на валковому стані: 4 – верхній валок; 5 – спрямовуючий валок; 6 – нижній валок; 7 – труба

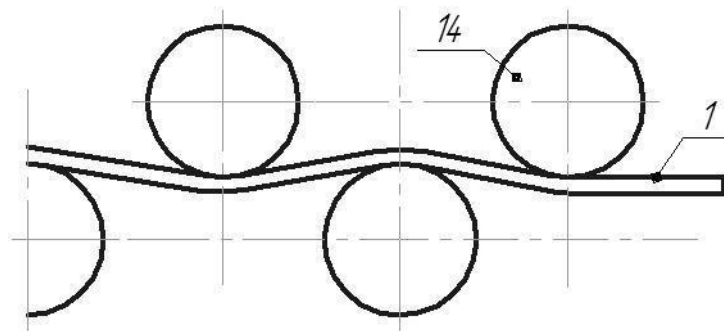


Рисунок 1.10 – Схема розтягування труби на правильно-розтяжних машинах: 1 – труба; 14 – правильний ролик

Контроль якості безшовних труб

При виготовленні безшовних труб здійснюються наступні види контролю: проміжний контроль та кінцевий. При цьому використовуються наступні методи: руйнуючий та неруйнуючий контроль.

До руйнуючих методів відносять

- механічні методи контролю: контроль на твердість, на розтяжіння, контроль ударної в'язкості;
- технологічні методи контролю: контроль на сплющення, на згинання.

Руйнуючі методи контролю здійснюються в лабораторіях на спеціальному обладнанні. За такими методами виконується вибірковий контроль.

До неруйнуючого контролю відносять контроль геометричних розмірів та якості поверхні, що відбувається візуально, або спеціальними приборами. Проводиться такий контроль безпосередньо у цехах при виготовленні продукції. Підлягає цьому контролю 100 % продукції.

1.5 Задачі дослідження

Проаналізував існуючі способи отримання безшовних труб гарячим прокатуванням з метою отримання готової гарячекатаної труби зі сталі 40Х, що буде використовуватися для прокладки водопровідних магістралей потрібно виконати наступні завдання:

- визначити прогресивне обладнання, що дозволить отримати заданий профіль високою якістю при достатній продуктивності процесу;
- визначити інструмент, що дозволить якісно виконати усі операції з гарячого прокатування безшовної труби зовнішнім діаметром 80 мм;
- визначити режими обробки, що дозволяють отримати якісний профіль;
- розрахувати витрати енергії на процес.

					КНУ.РБ.136.25.149с-07.01.АВБТПВ	Аркуш
						1.24
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2 РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ГАРЯЧЕКАТАНОЇ БЕЗШОВНОЇ ТРУБИ ЗОВНІШНІМ ДІАМЕТРОМ 80 мм

2.1 Гаряче прокатування безшовних труб на безперервному трубопрокатному агрегаті

Проаналізувавши можливі способи отримання гарячим прокатуванням безшовної труби зовнішнім діаметром 80 мм, дійшли висновку, що найперспективним способом є прокатування на трубопрокатному агрегаті з використанням безперервного розкатного стану. Такий агрегат має достатньо високу швидкість прокатування, що забезпечує високу продуктивність процесу. Калібрування та розміщення прокатних валків дозволяють отримати достатньо точний виріб.

Для отримання труби, що має зовнішній діаметр 80 мм будемо використовувати круглі калібри. Прокатування відбувається на безперервному прокатному стані з використанням довгої циліндричної оправки. Матеріал труби 40Х.

Потрібно розробити технологічний процес для отримання безшовної труби, виходячи з наступних початкових та кінцевих параметрів (табл. 2.1).

Таблиця 2.1 – Вихідні та кінцеві параметри обробки

d_0 , мм	d_k , мм	S_0 , мм	S_k , мм	σ_T , МПа	D_b , мм
90	80	10	5	800	600

Технологічний процес гарячого прокатування безшовних труб на трубопрокатних агрегатах з безперервним прокатним станом складається з наступних операцій:

					КНУ.РБ.136.25.149с-07.02.РТПВГБТ		
Вим.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата			
Розробив	Димніч				РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ГАРЯЧЕКАТАНОЇ БЕЗШОВНОЇ ТРУБИ	Літ.	Аркуш
Перевірив	Чубенко						Аркушів
Рецензент							
Н. контр.	Чубенко					2.1	23
Затвердив	Савельєв					Кафедра МЧМЛВ гр. МТ-21-1	

1. Підготування вихідної заготовки, розрізання її на мірні довжини. В якості вихідної заготовки будемо використовувати круглу трубну заготовку, що має зовнішній діаметр 90 мм.

2. Нагрівання початкового матеріалу в кільцевій печі.

3. Прошивання нагрітої заготовки на прошивних станах з дисковими прошивними валками.

4. Прокатування на безперервному стані з використанням довгої оправки.

5. Видалення оправки з поверхні труби.

6. Редукування труби.

7. Відділка готової труби.

8. Контроль якості продукції.

9. Маркування та пакування готової труби.

Після прокатування початкової заготовки на прошивному стані, де утворюється отвір діаметром 70 мм, утворюється товстостінна гільза, яка далі транспортується за допомогою роликів до стану поздовжнього прокатування. Температура прокатування не допускається менша за 900°C.

Перед задачею гільзи у прокатні валки на неї наноситься змащення. Під час деформації на прокатному стіну в середину труби подають рідину для змащення.

Процес прокатування гільзи на станах безперервного прокатування відбувається на оправках, що мають чисту та гладку поверхню без раковин, вибоїн, тріщин або надривів.

Прокатні валки під час прокатування повинні безперервно охолоджуватися водою разом з оправками, що відбувається в паузах між проходженнями труби.

Зовнішня поверхня труби після поздовжнього прокатування не повинна мати видимих дефектів.

Технологічну схему виготовлення безшовної труби гарячим прокатуванням на безперервному трубопрокатному агрегаті наведено на

					КНУ.РБ.136.25.149с-07.02.РТПВГБТ	Аркуш
						2.2
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

рисунку 2.1, де видно послідовність операцій, які задіяні при виготовлення труби.

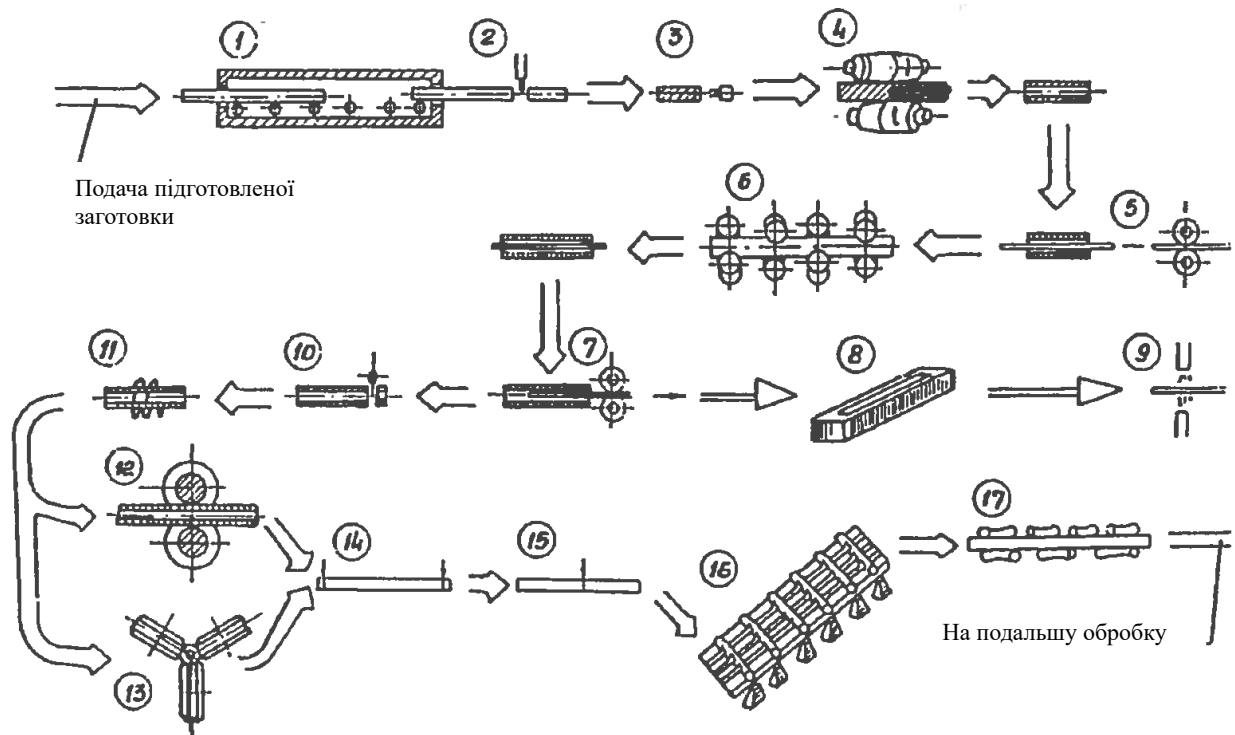


Рисунок 2.1 – Технологічна схема виготовлення труби на безперервному трубопрокатному агрегаті: 1 – нагрівання заготовок; 2 – різка заготовок;

3 – зацентрування; 4 – прошивка; 5 – зарядка оправки в гільзу;

6 – безперервна прокатка; 7 – вилучення оправки; 8 – охолодження оправок; 9 – змазка оправок; 10 – відрізка заднього кінця труби;

11 – підігрів труби в індукторі; 12 – калібрування труб; 13 – редукування;

14 – відрізка кінців труб; 15 – розрізання труб на мірні довжини;

16 – охолодження; 17 – правка труб

2.2 Підготування початкового матеріалу для виготовлення безшовної труби

В якості початкової заготовки використовується кругла безперервно-лита заготовка, що має зовнішній діаметр 90 мм з матеріалу сталь 40Х. Це леговано сталь, що має у своєму складі хром в кількості 0,4 %.

					КНУ.РБ.136.25.149с-07.02.РТПВГБТ	Аркуш
						2.3
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Результаті дослідження було з'ясовано, що використання круглої безперервно-ливої заготовки, в порівнянні з іншими способами отримання заготовок, дає можливість отримати наступні переваги:

- отримати більш якісну поверхню готової труби в порівнянні з квадратною заготовкою, що дозволяє уникнути тріщин, закатів;
- отримати більш якісну внутрішню структуру в осевій зоні заготовки, зменшити кількість мікрodefektів, зменшити осеву пористість.

Для отримання вихідної заготовки будемо використовувати машину безперервної розливки сталі радіального типу з багатоточечним загином і розгином заготовки (рис. 2.2).

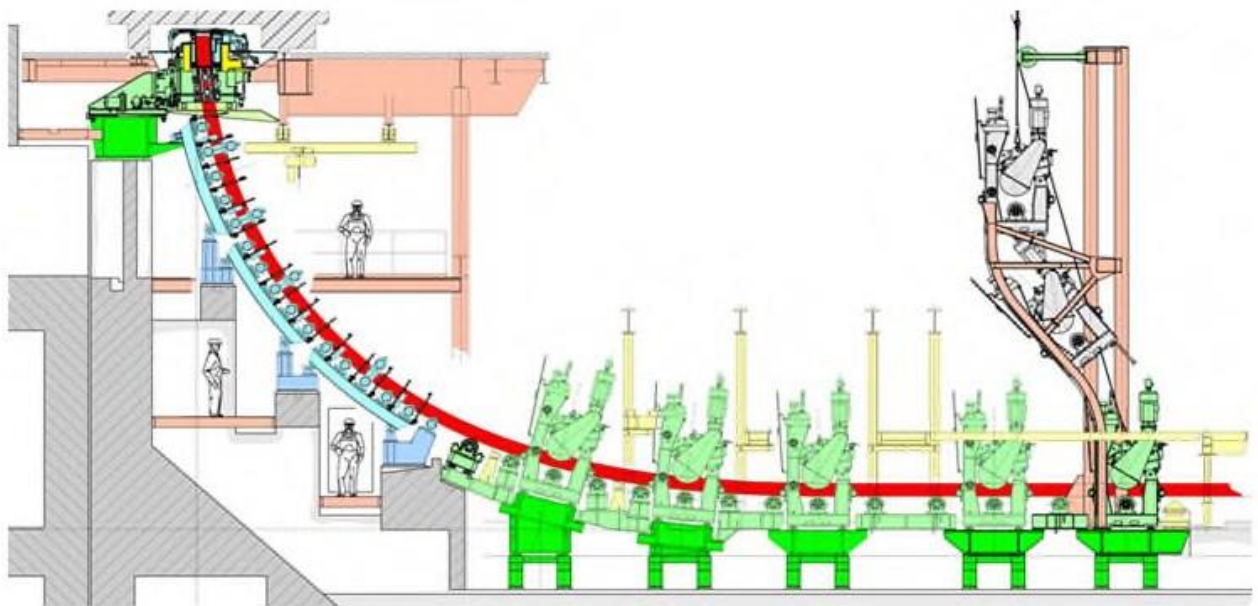


Рисунок 2.2 – Схема радіальної машини безперервної розливки для отримання круглих заготовок

2.3 Прошивання суцільної заготовки

Для прошивання використовується кругла трубна заготовка, що отримана на радіальній машині безперервного лиття. Заготовка має зовнішній діаметр, який дорівнює 90 мм.

					КНУ.РБ.136.25.149с-07.02.РТПВГБТ	Аркуш
						2.4
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Перед прошиванням відбувається нагрівання відбувається до температури, яка дорівнює $T_n = 0,8 T_{пл}$, де T_n – температура нагрівання матеріалу, $T_{пл}$ – температура плавлення матеріалу.

Температура нагрівання складає 1100°C .

Прошивання заготовки буде виконано на прошивному стані косого прокатування з дисковими прокатними валками (рис. 2.3).

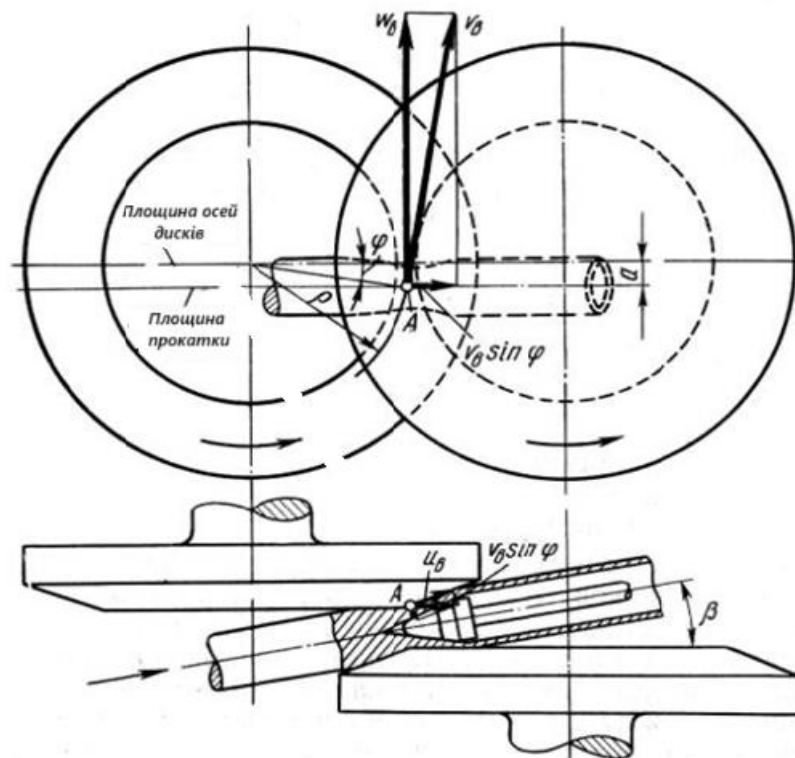


Рисунок 2.3 – Схема прошивання з використанням дискових прокатних валків

Такі прошивні валки використовують переважно для прошивання труб з зовнішнім діаметром від 80 до 140 мм з метою забезпечення точного отвору в суцільній заготовці.

За цією схемою видно, що осі прокатних валків повернуті відносно осі заготовки на кут β , колову швидкість валків V_B в точках дотику А і В можна розкласти на дві складові: впродовж осі прокатування діє швидкість U_B і

перпендикулярно до осі прокатування діє W_v . Такі напрямки дозволяють забезпечити поперечно-гвинтовий рух оброблюваного матеріалу.

Для дискових прошивних валків справедливо, що кут подачі, який визначає кут нахили осі прокатних валків у вертикальній площині до осі заготовки $\varphi=0$, кут розкати, що визначає кут нахилу прокатних валків до осі заготовки у горизонтальній площині $\alpha>0$, зміщення осі заготовки до осі прокатного стану на величину $q>0$.

2.4 Визначення параметрів та коефіцієнтів деформації при гарячому прокатуванні труби

При поздовжньому прокатуванні у круглих калібрах відбувається деформація, яка характеризується наступними показниками:

- обтиснення за діаметром: $\Delta d = d_0 + d_1$;
- обтиснення за стінкою: $\Delta s = s_0 + s_1$;
- відносне обтиснення за діаметром: $\varepsilon_d = \Delta d / d_0$;
- відносне обтиснення за стінкою : $\varepsilon_s = \Delta s / s_0$;
- коефіцієнт обтиснення стінки: $s_s = \Delta s / s_1$;
- довжина дуги контакту труби з прокатним валком по вершині калібру:

$$l_k = \sqrt{R_0(d_0 - d_1)}.$$

При поздовжньому прокатуванні у круглих калібрах відбувається деформація, яка характеризується наступними показниками:

- обтиснення за діаметром: $\Delta d = d_0 + d_1$;
- обтиснення за стінкою: $\Delta s = s_0 + s_1$;
- відносне обтиснення за діаметром: $\varepsilon_d = \Delta d / d_0$;
- відносне обтиснення за стінкою : $\varepsilon_s = \Delta s / s_0$;
- коефіцієнт обтиснення стінки: $s_s = \Delta s / s_1$;
- довжина дуги контакту труби з прокатним валком по вершині калібру:

$$l_k = \sqrt{R_0(d_0 - d_1)}.$$

- кут захоплення:

					КНУ.РБ.136.25.149с-07.02.РТПВГБТ	Аркуш
						2.6
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\alpha_3 = \arccos\left(1 - \frac{\Delta d}{D_B}\right),$$

де d_0 – діаметр початкової труби;

d_1 – діаметр кінцевої труби;

s_0 – початкова товщина стінки труби;

s_1 – кінцева товщина стінки труби;

після R_0 – радіус прокатних валків по вершині калібру.

При прокатуванні на циліндричній оправці кут захоплення можна поділити на дві зони: зону обтиснення стінки та зону редукування. Тоді довжина осередку деформації має дві складові: $l = l_p + l_{об}$.

При прокатуванні на циліндричній оправці довжина зони обтиснення дорівнює:

$$l_o = \sqrt{(s_0 - s_1)(2R_0 + s_0 + s_1)}.$$

Після підставлення необхідних значень, отримаємо:

- обтиснення за діаметром дорівнює $\Delta d = 90 - 80 = 10$ мм;
- обтиснення за стінкою дорівнює $\Delta s = 10 - 5 = 5$ мм;
- відносне обтиснення за діаметром $\varepsilon_d = 10/90 = 0,11$
- відносне обтиснення за стінкою $\varepsilon_s = 5/10 = 0,5$
- довжина дуги контакту $l_k = \sqrt{300(90 - 80)} = 54,6$ мм;
- при прокатуванні на циліндричній оправці зона обтиснення буде рівною $l_o = 55,5$ мм.

Поперечний переріз початкового матеріалу F_0 :

$$F_0 = \pi R_0^2, \text{ де } R_0 - \text{радіус початкової заготовки.}$$

Підставив відповідні значення, отримаємо:

$$F_0 = 3,14 \cdot 45^2 = 6358 \text{ мм}^2.$$

Площа поперечного перерізу готової труби буде дорівнювати F_T :

$$F_T = \pi R_T^2 - [\pi(R_T - t)^2] = 3,14 \cdot 40^2 - [3,14 \cdot (40 - 5)^2] = 1178 \text{ мм}^2.$$

При прокатуванні потрібно отримати коефіцієнт загальної витяжки:

$$\lambda = F_0 / F_T = 6358 / 1178 = 5,30.$$

					КНУ.РБ.136.25.149с-07.02.РТПВГБТ	Аркуш
						2.7
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Цей коефіцієнт витяжки потрібно розподілити між прокатними клфтями прокатного стану.

Отримані результати занесено в таблицю 2.2

Таблиця 2.2 – Отримані результати дослідження

Δd , мм	Δs , мм	ε_d .	ε_s .	l_k , мм	l_o , мм	F_0 , мм ²	F_k , мм ²	λ
10	5	0,11	0,5	54,6	55,5	6358	1178	5,3

2.5 Устаткування безперервного трубопрокатного стану

2.5.1 Основне обладнання безперервного трубопрокатного стану

На безперервному прокатному стану відбувається розкатування труби з гільзи. Загальний вигляд безперервного трубопрокатного агрегату наведено на рис. 2.4.



Рисунок 2.4 – Загальний вигляд безперервного трубопрокатного агрегату

Таке обладнання у своєму складі має основне устаткування та допоміжне. Схема безперервного трубопрокатного стану наведено на рисунку 2.5 де показано розташування робочих клітей.

					КНУ.РБ.136.25.149с-07.02.РТПВГБТ	Аркуш
						2.8
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

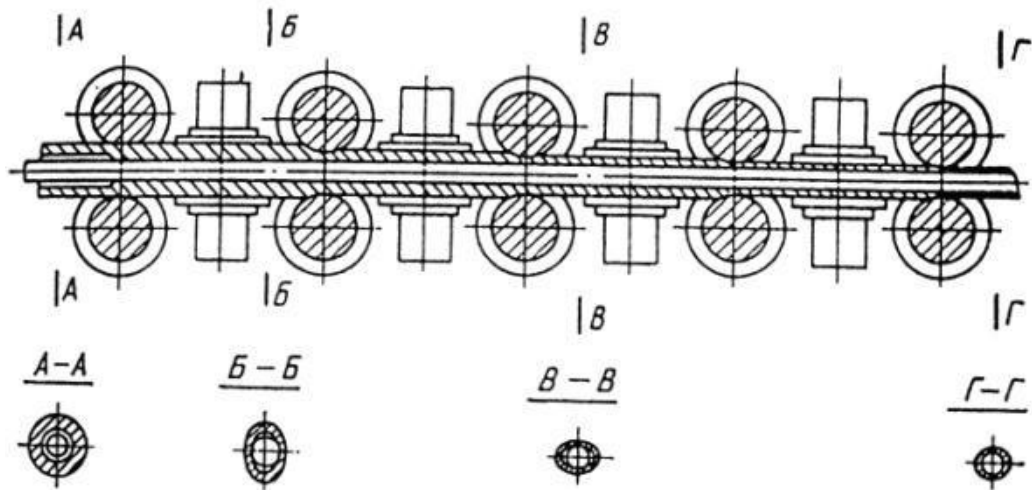


Рисунок 2.5 – Схема безперервного трубопрокатного стану

З рисунка видно, що безперервний розкатний стан складається з дев'яти робочих клітей у яких чергується розташування вертикального з горизонтальним.

Коефіцієнт витяжки розподіляється між прокатними клітями наступним чином:

$$\lambda_i = \sqrt[n]{\lambda_{\Sigma}},$$

де n – кількість прокатних клітей, $n = 9$ клітей ;

λ_{Σ} – загальний коефіцієнт витяжки, $\lambda_{\Sigma} = 5,3$.

В результаті розрахунку отримаємо:

$$\lambda_1 = 1,23; \lambda_2 = \lambda_3 = \lambda_4 = \lambda_5 = \lambda_6 = \lambda_7 = \lambda_8 = \lambda_9 = 1,2.$$

Прокатні валки виготовлені з матеріалу сталі 60ХГ. Під час розкатування відбувається витяжка безшовної труби, здійснюється пластична деформація послідовно за усім поперечним перерізом, як у поздовжньому, так і у поперечного напрямку.

Робоча кліть розкатного прокатного стану представлено на рисунку 2.6.

					КНУ.РБ.136.25.149с-07.02.РТПВГБТ	Аркуш
						2.9
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

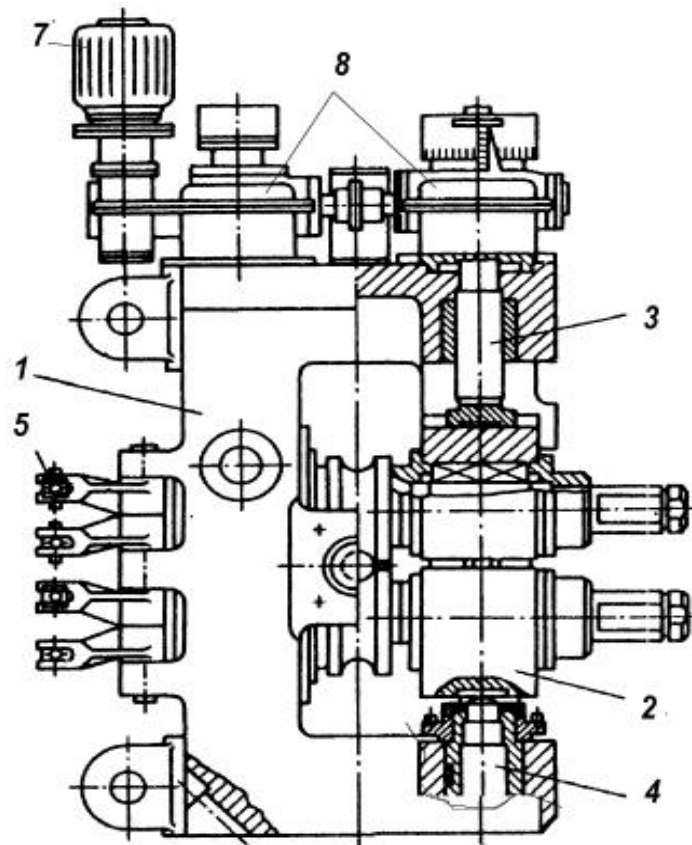


Рисунок 2.6 – Загальний вигляд робочої кліти безперервного прокатного стану: 1 – станина закритого типу; 2 – прокатні валки; 3 – верхній натискний механізм; 4 – нижній натискний механізм; 5 – механізм осьового регулювання; 7 – електродвигун; 8 – черв’ячно-глобоїдні редуктори

Робоча кліть безперервного стану має станину закритого типу. Зазор між прокатними валками регулюється за допомогою натискних механізмів і механізмів осьового регулювання. В якості опор прокатних валків служать чотирирядні підшипники кочення. Станина планками прикріплена до подушок. Верхні натискні гвинти мають вбудований в них пружний пристрій для їх урівноваження, завдяки чому забезпечується постійне притиснення подушок до натискних гвинтів. Також пружний пристрій служить для вибору зазору у системі подушка-стакан-гвинт.

					КНУ.РБ.136.25.149с-07.02.РТПВГБТ	Аркуш
						2.10
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для безперервних прокатних станів характерно те, що їм присутня стала лінія прокатування. Верхній прокатний валок переміщується завдяки натискним гвинтам у вертикальному напрямку.

У осьовому напрямку робочі валки при настроюванні калібру одного відносно іншого за допомогою механізму осьового регулювання.

2.5.2 Допоміжне обладнання безперервного трубопрокатного стану

До допоміжного обладнання відносять механізми введення оправки в гільзу, її подачі разом з оправкою у прокатні валки, для виймання стрижня або знімання труби з оправки використовують відповідний рольганг та фрикційний пристрій (рис. 2.7).

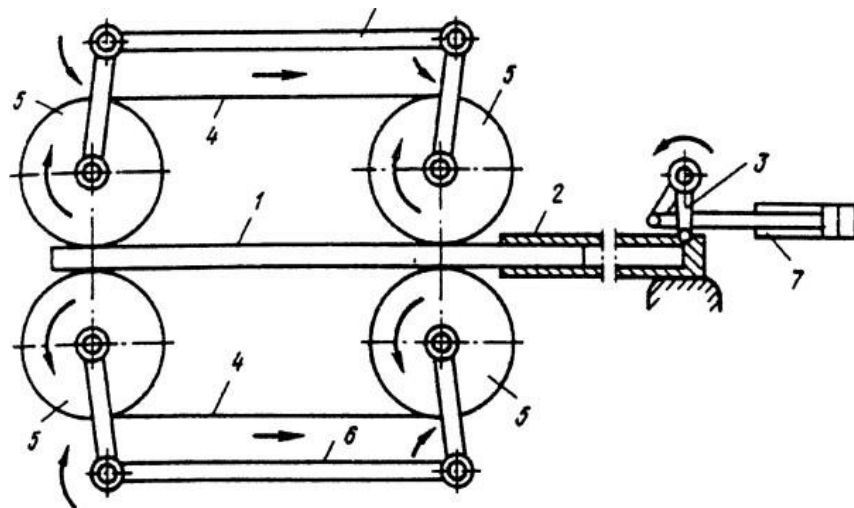


Рисунок 2.7 – Фрикційний пристрій для виймання оправки з труби:

1 – оправка; 2 – оброблювана труба; 3 – затискач; 4 – ланцюговий пристрій; 5 – зірочки; 6 – важільний механізм; 7 – пневматичний циліндр

При роботі цього пристрою труба фіксується затискачем, що унеможливорює її переміщення при вийманні. Такі пристрої приводяться в рух і витягають за допомогою сил тертя оправку з труби.

Пристрій, що забезпечує введення оправки в гільзу та її подачу у прокатні валки наведено на рисунку 2.8. Такий механізм встановлюється на вхідному

					КНУ.РБ.136.25.149с-07.02.РТПВГБТ	Аркуш
						2.11
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

боці прокатного стану. Каретки з упорами переміщуються по напрямних. Фрикційні ролики каретку рухають уперед, яка під упором штовхає оправку в гільзу, що розташовано на роликах. Коли одна каретка доходить до упору іншої каретки, оправка повністю входить у гільзу. Далі відбувається одночасне переміщення упору та каретки, що направляють гільзу з оправкою у прокатні валки.

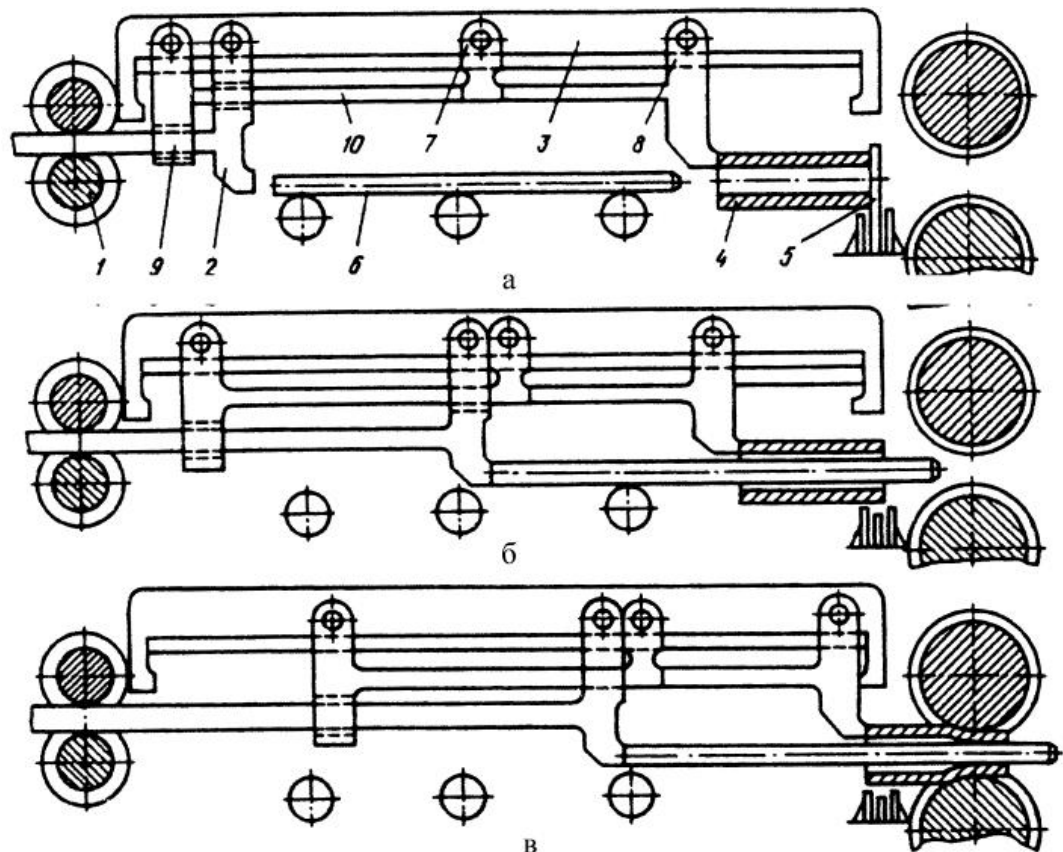


Рисунок 2.8 – Схема устаткування для введення оправки в гільзу і подачі її в прокатні валки: 1 – ролики; 2 – каретка; 3 – напрямна; 4 – гільза; 5 – упор; 6 – оправка; 7 – упор; 8 – каретка; 9 – каретка; 10 – напрямна

2.6 Кінематика процесу повздовжнього прокатування труби в калібрах

Кутова швидкість прокатних валків двовалкового трубопрокатного стану ω_e залишається постійною і дорівнює:

$$\omega_e = \pi n / 60,$$

					КНУ.РБ.136.25.149с-07.02.РТПВГБТ	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		2.12

де n – частота обертання валків, при прокатуванні залишається постійною; при прокатуванні на безперервному трубопрокатному стані $n = 6$ об/с.

Тоді кутова швидкість дорівнює:

$$\omega_6 = 3,14 \cdot 6,0 / 60 = 0,314 \text{ м/хв.}$$

Така швидкість спостерігається постійною за усім перерізом калібру.

Окружна швидкість прокатних валків за поперечним перерізом калібрів змінюється. Мінімальні значення вона приймає у вершині калібру, максимальні у основи. Окружна швидкість прокатних валків знаходиться за формулою:

$$v_i = \omega_6 \cdot D_i,$$

де v_i – окружна швидкість прокатних валків в i -й точці;

D_i – діаметр трубопрокатного валка в i -й точці.

Діаметр прокатного валка по буртам дорівнює 600 мм.

Діаметр при вершині труби буде дорівнювати $600 - 80 = 520$ мм.

Тоді, окружна швидкість прокатних валків у вершини труби v_6 буде дорівнювати:

$$v_6 = 0,314 \cdot 520 = 163,28 \text{ мм/с} = 0,163 \text{ м/хв.}$$

Окружна швидкість по буртах прокатного валка v_6 буде дорівнювати:

$$v_6 = 0,314 \cdot 600 = 188,4 \text{ мм/с} = 0,188 \text{ м/хв.}$$

Таким чином, окружна швидкість буде змінюватися з 0,163 м/хв до 0,188 м/хв.

Окружна швидкість прокатних валків залежить від форми калібру.

Для калібру, що має овальну форму, вона дорівнює:

$$v_6 = \omega_6 \cdot (D_i - 2\sqrt{r^2 - c^2} + 2c),$$

де r_k – радіус калібру;

c – абсолютний ексцентриситет овального калібру.

Середню швидкість прокатування можна визначити за інтегральною формулою:

$$v_{cp} = \left(\omega_6 \int_{v_i}^{v_6} D(x) dx \right) / b_k = 2 \omega_6 \int_{v_i}^{v_6} D(x) dx,$$

					КНУ.РБ.136.25.149с-07.02.РТПВГБТ	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		2.13

де $D(x)$ – функція зміни діаметру трубопрокатного валка по ширині калібру. $D(x)$ залежить від форми прокатного валка.

Для овального калібру функція зміни діаметру знаходиться за формулою:

$$D(x) = D_i - 2\sqrt{r^2 - c^2} + 2c.$$

Для зручності розрахунків введемо величину $l=c/r_k$.

Після перетворення отримаємо середню швидкість прокатування дорівнює:

$$v_{cp} = \omega_{\epsilon} \cdot \left[D_i - d_k \cdot \left(\frac{\arcsin \sqrt{1-l^2}}{2\sqrt{1-l^2}} + 0,5l \right) \right].$$

Отриманий вираз представимо у вигляді:

$$v_{cp} = \omega_{\epsilon} \cdot (D_i - \lambda d_k),$$

де λ - коефіцієнт, що характеризує форму калібру, який визначається за формулою:

$$\lambda = \frac{\arcsin \sqrt{1-l^2}}{2\sqrt{1-l^2}} + 0,5l.$$

Коефіцієнт λ для калібру з випуском по дотичній визначається за формулою:

$$\lambda = 0,5 \cdot [\cos \alpha_{\epsilon} (0,5\pi - \alpha_{\epsilon}) + \sin \alpha_{\epsilon}].$$

Коефіцієнт λ для калібру з випуском по дузі окружності визначається за формулою:

$$\lambda = \frac{(1-u)a \sin \alpha_{\epsilon} + (u^2 - 2u) \sin \alpha_{\epsilon} \cos \alpha_{\epsilon} + u^2 (0,5\pi - \alpha_{\epsilon} - \arcsin(a/u))}{2[a - (u-1)] \cos \alpha_{\epsilon}},$$

де a параметр, що визначається за формулою:

$$a = \sqrt{u^2 - (u-1)^2 \sin^2 \alpha_{\epsilon}}; u = p/r.$$

Калібр круглої форми характеризується наступними параметрами:

$$l=0; \alpha_{\epsilon}=0; a=u=1. \text{ Тоді } \lambda=\pi/4=0,785.$$

У нашому випадку, для отримання труби, що має зовнішній діаметр 80 мм, будемо використовувати круглий калібр тому, що він надійний в експлуатації і дозволяє отримати точний виріб.

					КНУ.РБ.136.25.149с-07.02.РТПВГБТ	Аркуш
						2.14
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

При визначенні фактичної швидкості металу в калібрі потрібно враховувати коефіцієнт випередження, що залежить від типу оправки і розраховується за формулою:

$$v_m = kv_{cp} = k\omega_s(D_i - \lambda d_k),$$

де k – умовний коефіцієнт випередження.

При прокатуванні труби на довгій оправці умовний коефіцієнт випередження дорівнює $k = 1,02 \dots 1,07$; при прокатуванні на короткій оправці $k = 0,95 \dots 1,02$; при прокатуванні без оправки $k = 1,02 \dots 1,07$.

Профіль овального калібру та епюра розподілу швидкості на ньому наведено на рисунку 2.9

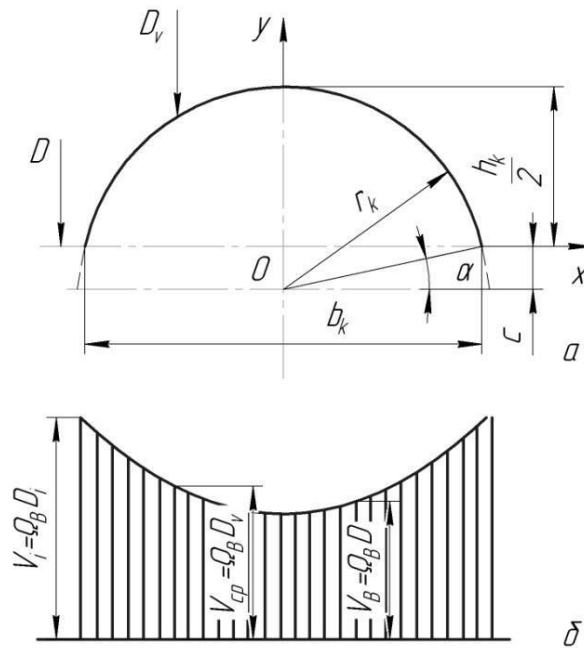


Рисунок 2.9 – Схема овального калібру (а) та епюра розподілу швидкості металу по калібру (б)

Середня швидкість прокатування для такого калібру буде дорівнювати:

$$v_{cp} = (v_s + v_b)/2 = (0,163 + 0,188)/2 = 0,175 \text{ м/хв, або } v_{cp} = 10,53 \text{ м/с.}$$

Для розрахунку швидкості металу при прокатуванні труби на безперервному трубопрокатному стані, потрібно визначити умовний коефіцієнт витяжки, який залежить від умов прокатування. Прокатування на

					КНУ.РБ.136.25.149с-07.02.РТПВГБТ	Аркуш
						2.15
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

безперервному трубопрокатному стані здійснюється з використанням довгої оправки. Для таких умов, умовний коефіцієнт витяжки k буде дорівнювати: $k = 1,02 \dots 1,07$. Для отримання труби з зовнішнім діаметром 80 мм, умовний коефіцієнт витяжки буде дорівнювати: $k = 1,05$.

У цьому випадку швидкість металу при прокатуванні труби дорівнює:

$$v_m = 10,53 \cdot 1,05 = 11,06 \text{ м/с.}$$

Така швидкість характерна для прокатки останньому калібрі безперервного трубопрокатного агрегату.

Було визначено, що безперервний прокатний стан складається з дев'яти прокатних клітей, з них п'ять горизонтальних та чотири вертикальних.

Розподіл режимів прокатування занесено в таблицю 2.3.

Таблиця 2.3 Розподіл режимів прокатування труби на безперервному трубопрокатному стані

№ кліті	λ_i	$F_i, \text{мм}^2$	$F_{i+1}, \text{мм}^2$	$v_{cp}, \text{м/с}$	$v_m, \text{м/с}$
1	1,23	6358	5169,1	2,44	2,6
2	1,20	5169,1	4307,6	2,94	3,08
3	1,20	4307,6	3589,7	3,5	3,7
4	1,20	3589,7	2991,4	4,23	4,43
5	1,20	2991,4	2492,8	5,07	5,3
6	1,20	2492,8	2077,3	6,1	6,4
7	1,20	2077,3	1731,1	7,312	7,6
8	1,20	1731,1	1442,6	8,775	9,2
9	1,20	1442,6	1178	10,53	11,06

З таблиці видно, що при проході трубного матеріалу від кліті до кліті поперечний переріз зменшується, а швидкість збільшується.

2.7 Енергосилові параметри при прокатуванні безшовних труб

Великий вплив на процес трубопрокатного виробництва має енергетичні затрати, що залежать від форми калібру. Процеси прокатування труб відбуваються у дуже нерівномірних умовах деформації за шириною калібру

Прокатування труб у круглих калібрах здійснюється в умовах нерівномірної деформації за шириною калібру через те, що в осередку деформації, що знаходиться безпосередньо у калібрі відбувається стиснення металу за діаметром та за стінкою в результаті чого стінка стоншується і труба змінює початковий діаметр, одночасно з цим на деяких ділянках відбувається розширення і за усім перерізом здійснюється суттєва витяжка.

Через це для різних ділянок калібру валка виникає різний напружений стан, а саме, біля вершини калібру здійснюється нерівномірне стиснення, а на ділянках що знаходяться у зоні випуску калібру присутні напруження як стиснення, так і розтягнення.

На величину енергосилових параметрів поздовжнього прокатування таких як зусилля прокатування, момент прокатування, енергія на прокатування суттєвий вплив має питомий тиск металу на прокатні валки, що потрібно в першу чергу визначити.

Середній тиск металу на валки визначається за формулою:

$$p_{cp} = 2S\beta\sigma_m / [1 + (2f/tg\alpha_z)] (d_0 + d_k),$$

де S – товщина стінки труби, приймаємо середню товщину стінки, що дорівнює: $S = (10 + 5) / 2 = 7,5$ мм;

σ_T – границя течії металу, при гарячому прокатуванні залежить від температури нагрівання, приймаємо $\sigma_T = 390$ МПа;

α_z – кут захвату, $\alpha_z = 17^\circ$, $tg 17^\circ = 0,3$

f – питома сила тертя; $f = 0,1$

β – коефіцієнт, що враховує схему напруження стану і визначається відношенням ширини калібру до довжини осередку деформації:

при $b/l_\alpha < 1$, $\beta = 1$; при $b/l_\alpha > 5$, $\beta = 1,5$; при $5 > b/l_\alpha > 1$, $\beta = 1,15$;

					КНУ.РБ.136.25.149с-07.02.РТПВГБТ	Аркуш
						2.17
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

d_0 – початковий діаметр оброблюваної заготовки;

d_k – кінцевий діаметр готової труби.

Середній питомий тиск можна визначити за формулою:

$$p_{cp} = \beta \sigma_{mc} n_v n_\sigma n_H,$$

де n_v – коефіцієнт, що враховує вплив швидкості прокатування та ступеню деформації під час прокатування;

n_H – коефіцієнт, що враховує зміцнення металу від наклепу поверхневого шару;

n_σ – коефіцієнт напруженого стану, що враховує вплив зовнішніх недеформованих зон, зовнішнього тертя у осередку деформації, натягнення смуги між валками, форми калібру прокатних валків тощо.

На границю течії металу при прокатуванні впливає швидкість прокатування, ступень деформації, зміцнення металу. Її можна визначити за формулою:

$$\sigma_m = \sigma_{mc} n_v n_H,$$

де σ_{mc} – границя течії, що визначено при статичних випробуваннях;

n_v – коефіцієнт напруженого стану;

n_H – коефіцієнт, що враховує зміцнення металу.

У випадку прокатування труби без оправки коефіцієнт напруженого стану визначається за формулою:

$$n_\sigma = \frac{S}{d_m} \cdot \left[1 + \left(\frac{d_k}{d_m} \right) \right].$$

У цьому випадку середній тиск при прокатуванні труби без оправки розраховується за формулою:

$$p_{cp} = \beta \sigma_m S \left(1 + \frac{d_k}{d_0} \right) / d_0.$$

У випадку прокатування труби на оправці враховується зміна товщини труби і середній тиск визначається за формулою:

					КНУ.РБ.136.25.149с-07.02.РТПВГБТ	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		2.18

$$p_{cp} = 1,15\sigma_m [1 + 2f_l / (S_0 + S_k)],$$

де S_0 та S_k – початкова та кінцева товщини відповідно.

Через те, що у нашому випадку використовується прокатування на довгій оправці скористаємося виразом, і отримаємо наступне:

$$p_{cp2} = 1,15 \cdot 390 \cdot [1 + 2 \cdot 0,1 \cdot 0,03 / (0,01 + 0,005)] = 625 \text{ МПа.}$$

Для визначення горизонтальної проекції поверхні дотику оброблюваного металу з прокатним валком використовується формула;

$$F_r = kb_{cp}l_\alpha = k\pi r_k l_d,$$

де k – коефіцієнт форми контактної поверхні, який дорівнює $k = 0,5 \dots 1,2$; для нашого випадку приймаємо: $k = 1,0$.

b_{cp} – середня ширина осередку деформації, яка визначається шириною калібру, для нашого випадку приймаємо $b_{cp} = (90 + 80) / 2 = 85 \text{ мм}$.

Довжина дуги контакту буде дорівнювати: $l_\alpha = 39 \text{ мм}$.

Тоді, горизонтальна проекція буде дорівнювати:

$$F_r = 1 \cdot 3,14 \cdot 42,5 \cdot 39 = 5204,5 \text{ мм} = 5,2 \text{ м.}$$

Для визначення повного тиску металу на прокатні валки при прокатуванні без оправки використовують формулу:

$$P = p_{cp} F_r,$$

для визначення повного тиску металу на валки при прокатуванні на оправці використовують формулу:

$$P = p_{cp1} (F_r - F_s) + p_{cp2} F_s,$$

де p_{cp1} – середній питомий тиск у осередку деформації при прокатуванні без оправки;

p_{cp2} – середній питомий тиск у осередку деформації при прокатуванні на оправці;

F_s – горизонтальна проекція поверхні дотику металу з прокатними валками в осередку деформації при обтисненні стінки труби, яка визначається за формулою:

					КНУ.РБ.136.25.149с-07.02.РТПВГБТ	Аркуш
						2.19
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$F_s = kb_{cp}l_{\alpha s} = k\pi r_k l_{\alpha s},$$

де α_s – кут захоплення, який відповідає точці початку обтиснення стінки.

У тому випадку, коли відсутні зовнішні сили, повний тиск металу на валки має вертикальний напрямок.

У випадку прокатування труб на короткій оправці утворюється зусилля Q , що діє у поздовжньому напрямку. Таке поздовжнє зусилля визначається за формулою:

$$Q = kP,$$

k – коефіцієнт, на який впливає товщина труби.

При прокатуванні товстостінних труб, які мають товщину стінки більше 5 мм, цей коефіцієнт дорівнює $k = 0,4 \dots 0,5$. При прокатуванні тонкостінних труб, у яких товщина стінки менша 5 мм коефіцієнт дорівнює $k = 0,15 \dots 0,2$.

Момент прокатування

Важливий вплив на витрати енергії при прокатуванні безшовних труб має момент прокатування.

У випадку прокатування, коли сила P діє у вертикальному напрямку і відсутні зовнішні сили, момент прокатування дорівнює:

$$M = Pa = P\psi l_a,$$

де a – плече рівнодіючої металу на прокатні валки, він дорівнює відстані від лінії, що з'єднує центри прокатних валків і до центри тяжіння епюри питомого тиску, що побудовано на горизонтальній проекції дуги захоплення;

ψ – коефіцієнт плеча.

Плече рівнодіючої визначається за формулою:

$$a = \frac{d_m - d_k}{\operatorname{tg} \alpha_s} \left\{ 1 - \frac{2d_m \left[1 - \left(\frac{d_k}{d_m} \right)^3 \right]}{3d_k \left[1 - \left(\frac{d_k}{d_m} \right)^2 \right]} \right\},$$

де d_m – початковий діаметр труби;

d_k – кінцевий діаметр труби.

					КНУ.РБ.136.25.149с-07.02.РТПВГБТ	Аркуш
						2.20
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Коефіцієнт плеча визначається за формулою:

$$\psi = \frac{a}{l_{cp}} = \frac{d_k}{d_m - d_k} \left\{ 1 - \frac{2d_m \left[1 - \left(\frac{d_k}{d_m} \right)^3 \right]}{3d_k \left[1 - \left(\frac{d_k}{d_m} \right)^2 \right]} \right\}.$$

Потужність при прокатуванні визначається за формулою:

$$N = 2M_{np} \cdot \omega_v.$$

Енергетичні витрати на процес прокатування визначаються за формулою:

$$A = NT_{np},$$

де T_{np} – час, що витрачається на прокатування труби, визначається за формулою:

$$T_{np} = L_m / v,$$

де v – окружна швидкість валків;

L_m – довжина труби.

2.8 Правка безшовних труб

Особлива увага приділяється правці отриманої труби на безперервному агрегаті. Для цього використовують косовалкові трубоправильні машини. Такі машини забезпечують високу якість отриманої труби. Їх робочі валки розташовують під кутом до осі труби. При проходженні роликів кругла труба обертається і піддається знакозмінній дії пластичної деформації та отримує велику кількість знакозмінних вигинів, як показано на рисунку 2.10.

Кількість валкових обойм суттєво впливає на якість виправлення труби. На машинах, які мають три валкові обойми показник поздовжньої кривизни після виправлення становить менше 1 мм на 1 погонний метр, на машинах, які мають чотири обойми показник поздовжньої становить менше 0,8 мм на 1 погонний метр, з п'ятьма валковими обоймами – менше 0,5 мм на 1 погонний метр.

					КНУ.РБ.136.25.149с-07.02.РТПВГБТ	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		2.21

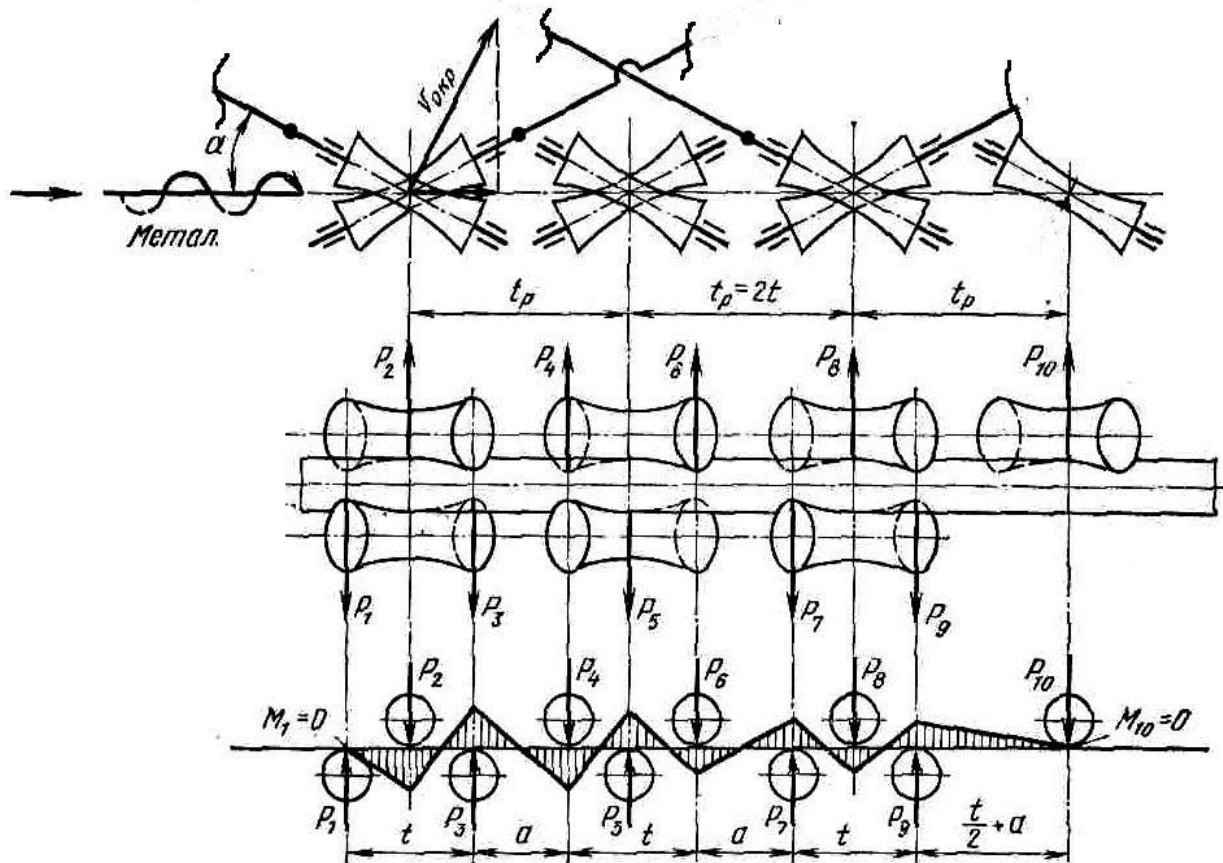


Рисунок 2.10 – Схема технологічного процесу виправлення круглої труби на косовалкових багатороликових правильних машинах

Для отримання потрібної труби зупиняємося на машині з п'ятьма обоймами (рис. 2.11) що забезпечує достатню якість труби.

Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

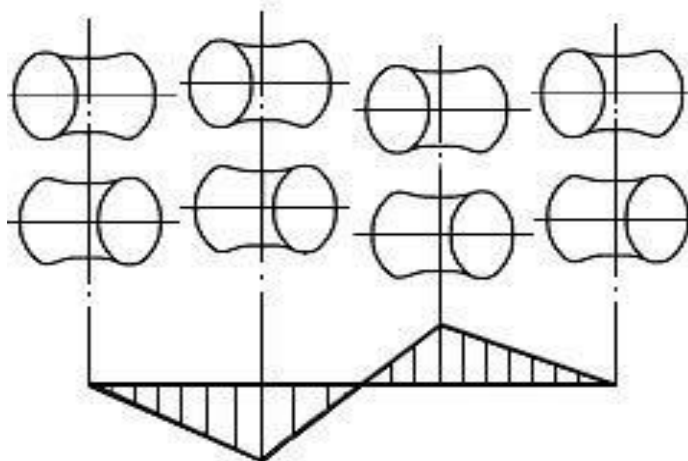


Рисунок 2.11 – Схема випрямлення готової труби на машині з п'ять обоймами

Таким чином отримується безшовна труба потрібної якості.

					КНУ.РБ.136.25.149с-07.02.РТПВГБТ	Аркуш
						2.23
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

В роботі було виконано аналіз та розроблено технологію виготовлення безшовних сталевих труб зовнішнім діаметром 80 мм.

Було вивчено існуючі способи отримання безшовних труб гарячим прокатуванням, що дозволило спосіб виготовлення безшовної гарячекатаної труби зі сталі 40Х.

Дослідивши роботу існуючих трубопрокатних агрегатів, що дозволяють отримати безшовні труби, було надано перевагу безперервному трубопрокатному агрегату, який забезпечить виготовлення трубу з зовнішнім діаметром 80 мм потрібної якості та з високою продуктивністю.

Було визначено інструмент, що дозволить якісно виконати усі операції з гарячого прокатування безшовної труби зовнішнім діаметром 80 мм. Виявлено, що перевагу мають двовалкові прокатні стани з овальними калібром. Було розраховано калібровку валків та досліджено кінематику процесу прокатування в калібрах.

Було досліджено роботу прошивних станів, що дозволяють отримати отвір в суцільній заготовці. Надано перевагу прошивним станам з дисковими валками.

Було визначено кількість проходів на безперервному розкатному прокатному стані, режим обтиснення, що дозволяє отримати якісний профіль, визначено коефіцієнти витяжки та розподілено їх за проходами.

Було визначено зусилля прокатування, що дозволяють визначити енерговитрат на процес.

					КНУ.РБ.136.25.149с-07.В			
Вим.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата				
Розробив	Димніч				ВИСНОВКИ	Літ.	Аркуш	Аркушів
Перевірив	Чубенко						1	1
Рецензент						Кафедра МЧМЛВ гр. МТ-21-1		
Н. контр.	Чубенко							
Затвердив	Савельєв							

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

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

2. Чубенко В. А., Хіноцька А. А. Технологія процесів обробки металів тиском: Навчальний посібник. – Кривий Ріг: Видавничий центр КНУ, 2020. – 206 с.

3. Труби сталеві безшовні для нафтопереробної та нафтохімічної промисловості. Технічні умови [Текст]. – Чинний від 2021-01-01. – Київ: УкрНДНЦ, 2020. – III, 11 с.: табл. – (Національний стандарт України).

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

5. Взаємодія технологічних параметрів в осередку деформації при сталому процесі прокатування/ М.М. Бережний, В.А. Чубенко, А.А. Хіноцька, А. Шепель, В. Чубенко //Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». Тематичний випуск: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2013 р. – № 43. – С. 36-41.

6. Час перебування металу в осередку деформації та утворення нової поверхні/ М.М. Бережний, Чубенко В.А., Хіноцька А.А., Глінкін А.// Вісник Криворізького технічного університету– Випуск 30. – 2012. – с. 171-174.

7. Енергетичний баланс та реологічні властивості осередку деформації при прокатуванні штаби гладкими валками. Монографія / Бережний М.М., Чубенко В.А., Хіноцька А.А. – Кривий Ріг: Діоніс. – 2011. – 120 с.

					КНУ.РБ.136.25.149с-07.Л						
Вим.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата							
Розробив		Димніч			ЛІТЕРАТУРА			Літ.	Аркуш	Аркушів	
Перевірив		Чубенко								1	2
Рецензент								Кафедра МЧМЛВ гр. МТ-21-1			
Н. контр.		Чубенко									
Затвердив		Савельєв									

8. Бережний М.М., Чубенко В.А. Основи проектування технологічних ліній і комплексів металургійних цехів: Монографія. – Кривий Ріг: Видавничий Дім, 2010. – 404 с.

9. Теорія процесів обробки металів тиском: Підручник / В.М. Данченко, В.О. Грінкевич, О.М. Головка – Дніпропетровськ: Пороги, 2008. – 370 с.

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

11. Совершенствование производства стали, труб и железнодорожных колес [Текст]: [коллектив. моногр.] / под ред. чл.-кор. НАНУ А.Г. Величко, акад. НАНУ В.И. Большакова, проф. В.Ф. Балакина. – Днепропетровск: Экономика, 2015. – 498 с.

12. Калибровка прокатных валков: Учебное пособие для ВУЗов / Чекмарев А.П., Мутьев М.С., Машковцев Р.А. – М.: Металлургия, 1971 г. – 512 с.

13. Зотов В.Ф. Производство проката. [Електронний ресурс]: Классификация и типы прокатных станов. – © MarkMet 2005-2021 г. – https://markmet.ru/tehnologiya_metallov/klassifikatsiya-i-tipy-prokatnykh-stanov.

14. Кудрин В.А. Теория и технология производства стали [Уч. для вузов] / В.А. Кудрин. – М.: «Мир», ООО «Издательство АСТ», 2003. – 528 с.

15. Интерпайп Нижнеднепровский трубопрокатный завод: 1891-2011 [Текст] / [Н.И. Железняк, М.С. Забуга, Ю.С. Филали Ансари; редкол.: А.М. Коротков (рук. редкол.) и др.; фото В.Ю. Николаев]. – Д.: АРТ-ПРЕСС, 2011. – 111 с. : фот. – 2000 прим. – ISBN 978-966-348-256-9.

16. Математическое описание непрерывного стана горячей прокатки как объекта системы автоматического управления/ Ю.Г. Самборский, В.Г. Файнштейн // Вісник Криворізького національного університету – Випуск 37. – 2014. – С. 104-107.

					КНУ.РБ.136.25.149с-07.Л	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		2