

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 ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ СТАЛЕВОЇ
ТРУБИ, ЩО МАЄ ДІАМЕТР УМОВНОГО ПРОХОДУ 40 мм»**

Виконав:

студент групи ЗМТ-22-1 _____ Ярослав КОРОСТЕЛЬОВ

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

Коростельов Ярослав Володимирович _____

1. Тема роботи: Розробка технології виготовлення сталеві труби, що має діаметр умовного проходу 40 мм

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

затверджено наказом по КНУ від « 19 » _____ 02 _____ 2026 р. № 114с _____

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

3. Вихідні дані до роботи: призначення труби – для газопроводів; діаметр умовного проходу – 40 мм; зовнішній діаметр труби – 48 мм; товщина стінки труби – 4 мм; діаметр початкової заготовки – 60 мм; довжина початкової заготовки дорівнює – 6 м; марка матеріалу Сталь 20; межа міцності – 410 Н/мм²; межа пластичності – 245 Н/мм²; температура плавлення 1500°C; відносне подовження – не менше 25% відносне звуження – не менше 55%.

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

1. Загальна характеристика та аналіз способів виготовлення безшовних труб: призначення сталевих труб; способи виготовлення; гаряче прокатування труби; обладнання для отримання безшовної труби.

2. Розробка оновленого технологічного процесу гарячого прокатування сталеві труби діаметром умовного проходу 40 мм: послідовність технологічних операцій; прошивання; устаткування; параметри та коефіцієнти деформації; швидкісні умови; енергосилові параметри.

5. Перелік графічного матеріалу

Загальний вигляд труби. Діаметр умовного проходу 40 мм. Технологічна послідовність виготовлення безшовних труб. Технологія отримання безшовної сталеві труби. Технологічна схема гарячого прокатування труби на безперервному трубопрокатному агрегаті. Розташування прокатних клітей безперервного трубопрокатного стану. Результати розрахунків проміжних розмірів та показників деформації при прокатуванні. Результати розрахунку коефіцієнтів та параметрів прокатування на безперервному трубопрокатному стані.

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	Загальна характеристика та аналіз способів виготовлення безшовних труб	28.01-08.02.2026
3	Призначення та способи виготовлення труб, матеріали для їх виготовлення	09.02-25.02.2026
4	Гаряче прокатування труби; обладнання для отримання безшовної труби	26.02-10.03.2026
5	Розробка оновленого технологічного процесу гарячого прокатування сталевих труб: послідовність технологічних операцій	11.03-10.04.2026
6	Прошивання суцільної безперервно-ливої заготовки; параметри та коефіцієнти деформації при гарячому прокатуванні	11.04-30.04.2026
7	Розрахунок енергосилових параметрів прокатування; швидкісні умови поздовжнього прокатування труби в круглих калібрах	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	19.06.2026

Дата видачі завдання «__19__»_____02_____2026 р.

Здобувач вищої освіти _____ Ярослав КОРОСТЕЛЬОВ
(підпис)

Керівник випускної кваліфікаційної роботи _____ Вікторія ЧУБЕНКО
(підпис)

РЕФЕРАТ

до випускної кваліфікаційної роботи бакалавра на тему:
«Розробка технології виготовлення сталевих труби, що має діаметр
умовного проходу 40 мм»

Пояснювальна записка: 57 стор., 2 табл., 10 рис., 19 джерел.

Об'єкт дослідження: трубопрокатне виробництво.

Предмет дослідження: процеси виготовлення сталевих труби, що має діаметр умовного проходу 40 мм.

Мета роботи: розробити сучасний технологічний процес виготовлення сталевих труби, що має діаметр умовного проходу 40 мм.

Метод дослідження: теоретичний – дослідження процесу прокатування труби на безперервному трубопрокатному агрегаті, розрахунок коефіцієнтів і параметрів осередку деформації безшовної труби, швидкісних умов прокатування, витрат зусиль на процес.

Результати роботи: проаналізовано призначення труби діаметром умовного проходу 40 мм, визначено її матеріал, де перевагу надано вуглецевій сталі марки Сталь 20; визначено обладнання для прокатування труби, де перевагу надано безперервному трубопрокатному агрегату; намічено послідовність операцій, які забезпечують виготовлення потрібної труби; визначено початковий матеріал для отримання труби потрібних розмірів, де перевагу надано безперервно-литій заготовці; визначено параметри та коефіцієнти деформації при прокатуванні труби, що дозволять отримати якісний профіль.

ТРУБОПРОКАТНЕ ВИРОБНИЦТВО, ПОПЕРЕЧНО-ГВИНТОВЕ
ПРОКАТУВАННЯ, ТРУБОПРОКАТНИЙ АГРЕГАТ, ДИСКОВІ ПРОКАТНІ
ВАЛКИ, КРУГЛИЙ КАЛІБР, КОЕФІЦІЄНТ ВИТЯЖКИ.

					КНУ.РБ.136.26.114с-04.Р			
Вим.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата				
Розробив	Коростельов				РЕФЕРАТ	Літ.	Аркуш	Аркушів
Перевірив	Чубенко						1	1
Рецензент						Кафедра МЧМЛВ гр. ЗМТ-22-1		
Н. контр.	Чубенко							
Затвердив	Бабошко							

ВІДОМІСТЬ МАТЕРІАЛІВ

№ строки	Формат	Обозначение	Наименование	Кол. листов	№ экз.	Примечание
1						
2	A4	КНУ.РБ.136.26.114с-04.ПЗ	Пояснювальна записка	57		
3						
4			Графічна частина			
5			(Презентація)			
6	A4	КНУ.РБ.136.26.114с-04.01	Загальний вигляд труби	1		
7	A4	КНУ.РБ.136.26.114с-04.02	Діаметр умовного проходу 40 мм	1		
8	A4	КНУ.РБ.136.26.114с-04.03	Технологічна послідовність			
9			виготовлення безшовних труб	1		
10	A4	КНУ.РБ.136.26.114с-04.04	Технологія отримання			
11			безшовної сталевих труби	1		
12	A4	КНУ.РБ.136.26.114с-04.05	Технологічна схема гарячого			
13			прокатування труби	1		
14	A4	КНУ.РБ.136.26.114с-04.06	Розташування прокатних клітей			
15			безперервного трубопрокатного стану	1		
16	A4	КНУ.РБ.136.26.114с-04.07	Показники деформації при			
17			прокатуванні	1		
18	A4	КНУ.РБ.136.26.114с-04.08	Коефіцієнти та параметри			
19			прокатування на безперервному			
20			трубопрокатному стані	1		
21						
22						
23						
24						

КНУ.РБ.136.26.114с-04.В0				
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разраб.		Коростельов		
Проб.		Чуденко		
Н.контр.		Чуденко		
Утв.		Бабашко		

Відомість об'єму матеріалів		
Лит.	Лист	Листов
р д	1	1

кафедра МЧМ/В		
група ЗМТ-22-1		

Копіював		Формат A4	
----------	--	-----------	--

ЗМІСТ

	Стор.
РЕФЕРАТ.....	4
ВІДОМІСТЬ МАТЕРІАЛІВ.....	5
ВСТУП.....	7
1 ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ТА АНАЛІЗ СПОСОБІВ	
ВИГОТОВЛЕННЯ БЕЗШОВНИХ ТРУБ.....	9
1.1 Характеристика та призначення сталевих труб.....	9
1.2 Способи виготовлення труб та матеріал для їх виготовлення.....	14
1.3 Гаряче прокатування труби.....	16
1.4 Обладнання для отримання безшовної труби.....	27
2 РОЗРОБКА ОНОВЛЕНОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ	
ГАРЯЧОГО ПРОКАТУВАННЯ СТАЛЕВОЇ ТРУБИ, ЩО МАЄ ДІАМЕТР	
УМОВНОГО ПРОХОДУ 40 мм.....	33
2.1 Послідовність технологічних операцій з виготовлення сталевий	
труби, що має діаметр умовного проходу 40 мм, на	
трубопрокатному агрегаті з безперервним прокатним станом.....	33
2.2 Прошивання суцільної безперервно-ливої заготовки.....	37
2.3 Устаткування безперервного трубопрокатного стану.....	38
2.4 Параметри та коефіцієнти деформації при гарячому прокатуванні	
труби на безперервному трубопрокатному агрегаті.....	39
2.5 Швидкісні умови поздовжнього прокатування труби в круглих	
калібрах.....	47
2.6 Енергосилові параметри прокатування безшовних труб на	
безперервному трубопрокатному стані.....	52
ВИСНОВКИ.....	55
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	56

					КНУ.РБ.136.26.114с-04.3						
Вим.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата							
Розробив		Коростельов			ЗМІСТ		Літ.	Аркуш	Аркушів		
Перевірив		Чубенко							1	1	
Рецензент											
Н. контр.		Чубенко					Кафедра МЧМЛВ гр. ЗМТ-22-1				
Затвердив		Бабошко									

ВСТУП

Сталеві труби – це дуже затребувана продукція, яка користується попитом в багатьох галузях народного господарства: в будівництві для побудови каркас, опор, металоконструкцій, для створення наземних та підземних споруд; машинобудуванні для створення деталей машин; в сільському господарстві для створення систем зрошення та водопостачання; в комунікаціях для постачання води, газу, пари та нафтопродуктів; в системах теплопостачання; в меблевій промисловості, з них виготовляють каркасні системи та стелажі. До таких виробів пред’являються високі вимоги з міцності, надійності, теплостійкості, що залежить цілком від технології її виготовлення. Тому дослідження способів виготовлення сталевих труб і вибір раціонального з них є актуальним завданням, що дозволить підвищити ефективність виробництва та якість отриманої продукції.

В промисловості використовують різні види труб, які мають різне технологічне призначення. В роботі досліджено та удосконалено процес прокатування сталеві труби з діаметром умовного проходу 40 мм. Таку трубу використовують для забезпечення потреб газопостачання.

Мета роботи: розробити сучасний технологічний процес виготовлення сталеві труби, що має діаметр умовного проходу 40 мм.

Для досягнення мети потрібно вирішити наступні задачі:

- проаналізувати призначення труби, що має діаметр умовного проходу 40 мм, вимоги до неї, матеріал для виготовлення;
- дослідити способи виготовлення безшовної труби діаметром умовного проходу 40 мм та визначити раціональний;

					КНУ.РБ.136.26.114с-04.ВС			
Вим.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата				
Розробив	Коростельов				ВСТУП	Літ.	Аркуш	Аркушів
Перевірив	Чубенко						1	2
Рецензент						Кафедра МЧМЛВ гр. ЗМТ-22-1		
Н. контр.	Чубенко							
Затвердив	Бабошко							

- визначити обладнання для отримання безшовної труби та дослідити його роботу;
- визначити послідовність технологічних операцій для виготовлення якісної сталевих безшовної труби діаметром умовного проходу 40 мм;
- визначити форму калібрів, що забезпечують отримання потрібного профілю;
- дослідити коефіцієнти та параметри осередку деформації при прокатуванні труби з умовним діаметром 40 мм;
- визначити кінематику осередку деформації та зусилля прокатування.

					КНУ.РБ.136.26.114с-04.ВС	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		2

1 ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ТА АНАЛІЗ СПОСОБІВ ВИГОТОВЛЕННЯ БЕЗШОВНИХ ТРУБ

1.1 Характеристика та призначення сталевих труб

Труби широко використовують в народному господарстві для транспортування рідин та газів, сипучих матеріалів (рис. 1.1), для створення захисних каналів, кабелів та різних конструкційних елементів у будівництві та різних галузях промисловості. Труби використовують при водопостачанні, для опалення та каналізації, в газопроводах та захисних інженерних комунікаціях.



Рисунок 1.1 – Загальний вигляд труб

					КНУ.РБ.136.26.114с-04.01.3ХАСВБТ		
Вим.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата	ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ТА АНАЛІЗ СПОСОБІВ ВИГОТОВЛЕННЯ БЕЗШОВНИХ ТРУБ		
Розробив	Коростельов						
Перевірив	Чубенко						
Рецензент							
Н. контр.	Чубенко						
Затвердив	бабошко				Літ. Аркуш Аркушів 1.1 24 Кафедра МЧМЛВ гр. ЗМТ-22-1		

Основні сфери застосування труб:

- труби використовують при транспортуванні: використовують водопроводи для транспортування питної та технічної води, газові магістралі, нафтопроводи для переміщення нафти, системи опалювання та каналізації;
- широке використання в інженерних комунікаціях при влаштуванні вентиляцій, при встановленні електромереж, при спорудженні кабельних каналів;
- труби широко використовують в будівництві та промисловості. Їх використовують як конструктивні елементи, будують каркаси, встановлюють опори, палі. Застосовують у машинобудування і меліорації;
- труби мають побутове призначення. З них виготовляють гнучку підводку для підключення сантехніки, нагрівачів, пральних машин.

Сталеві труби є довговічними, високоміцними та термостійкими виробами, які широко використовують в будівельній та нафтогазовій галузі, в інженерних мережах.

Основна характеристика сталевих труб – міцність та надійність через те, що вони мають високу стійкість до механічних навантажень та перепад температур. Вони мають стійкість до роботи при високому тиску, але вони схильні до корозії, через що потребують додатковий захист.

Труби класифікують за декількома ознаками: за способом виготовлення; за формою поперечного перерізу; за типом покриття; за товщиною стінки; за типом покриття; за призначенням.

За способом виготовлення сталеві труби класифікують на безшовні і зварні.

Безшовні труби бувають гарячекатані або гарячедеформовані, холоднокатані, або холоднодеформовані, пресовані. Такі труби відрізняються високою міцністю.

Зварні труби бувають прямошовні, спіральшовні, що використовуються для труб великих розмірів, багат шарові.

					КНУ.РБ.136.26.114с-04.01.ЗХАСВБТ	Аркуш
						1.2
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

За формою поперечного перерізу труби класифікують на круглого поперечного перерізу і профільного поперечного перерізу. Труби класифікують на круглі та профільні.

Труби круглого поперечного перерізу є універсальними, використовують для водопостачання, газопостачання тощо.

Профільні труби можуть мати квадратний профіль, прямокутний, овальний, D-подібний. Використовують для різних металоконструкцій.

З типом покриття труби класифікують на:

- чорні – виконуються без покриття зі звичайної сталі;
- оцинковані – виконуються з антикорозійним цинковим покриттям.

За призначенням труби поділяють на класи:

- 1 клас: газові та водопровідні, вважаються загального призначення;
- 2 клас: магістральні нафто- та газопроводи;
- 3 клас: для роботи під тиском, використовуються в хімічній промисловості, в котлах; використовують для виготовлення таких труб жароміцні та неіржавіючі матеріали;
- 4 клас: труби для розвідки та нафтовидобутку;
- 5 клас: конструкційні труби для меблевої промисловості, в будівництві для спорудження будівельних лісів.

За точністю виготовлення труби класифікують на:

- звичайної точності;
- підвищеної точності.

За технічними характеристиками такими як діаметр труби та товщина стінки.

За діаметром труби класифікують на:

- малого діаметру: до 114 мм;
- середнього діаметру: від 114 мм до 530 мм;
- великі: труби, що мають діаметр понад 530 мм.

За товщиною стінки: тонкостінні та товстостінні.

					КНУ.РБ.136.26.114с-04.01.3ХАСВБТ	Аркуш
						1.3
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Труби класифікують за відношення зовнішнього діаметру до товщини D/t на наступні класи:

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

Сталеві труби по обробці кінців поділяють на:

- нарізні сталеві труби;
- сталеві труби з розширеними кінцями;
- сталеві труби з розширеними кінцями;
- сталеві труби з висадженими кінцями;
- інші.

Діаметр умовного проходу – це умовна величина внутрішнього діаметру труби (рис. 1.2). Ця величина є стандартною і відповідає ДСТУ ГОСТ 28338: 2008. Використовується величина умовного проходу для зручності підбору трубопровідних систем, ця величина встановлює номінальний розмір для полегшення стикування різних елементів: труб, фітінгів та запірної арматури. Вказується в міліметрах або в дюймах.

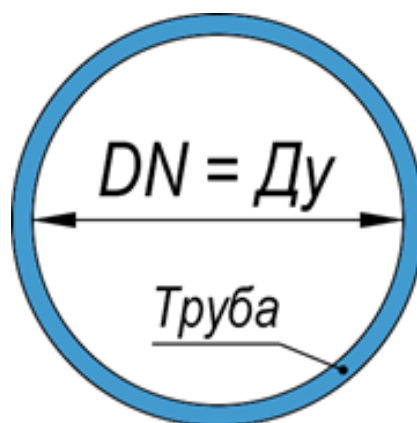


Рисунок 1.2 – Діаметр умовного проходу

					КНУ.РБ.136.26.114с-04.01.3ХАСВБТ	Аркуш
						1.4
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Діаметр умовного проходу – це основна характеристика для водогазопровідних та оцинкованих труб, фітінгів, запірної арматури та сполучних частин до них.

Для труб, що мають діаметр умовного проходу 40 мм, характерні наступні розміри:

- внутрішній діаметр труби в дюймах: $1\frac{1}{2}$;
- товщина труби – 4 мм;
- зовнішній діаметр 48 мм.

Такі труби широко використовують в промисловості для транспортування різних робочих середовищ: рідин та газів у тих умовах, де потрібна висока пропускна здатність, яка вища за побутову.

Труба, що має діаметр умовного проходу 40 мм, зовнішній діаметр 48, товщину стінки 4 мм, отримує відношення $D/t = 48/4 = 12$, вважається трубою не малого діаметру та середньої товщини.

Труби, що мають умовний 40 мм, отримали широке застосування при монтажі споруд з використанням сталевих труб.

Найрозповсюджене призначення сталевих труб діаметром умовного проходу 40 мм – це труби для водогазопостачання. Їх використовують для проведення водопроводу, газопроводу, для опалення. Такі труби знайшли широке застосування при застосуванні у сферах будівництва та житлово-комунального господарства.

Для нашого випадку зупинимося на виготовленні труби для газопостачання. Труби з діаметром умовного проходу забезпечують транспортування природного газу низького та середнього тиску.

Сталеві труби для газопостачання мають високу надійність та міцність. Виготовляють їх, як правило, з низьковуглецевої сталі. використовуються як для зовнішніх, так і внутрішніх газопроводів. Такі труби можуть витримати високий тиск, стійкі до механічних пошкоджень, але стійкі до корозії.

					КНУ.РБ.136.26.114с-04.01.3ХАСВБТ	Аркуш
						1.5
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.2 Способи виготовлення труб та матеріал для їх виготовлення

За способом виготовлення труби поділяють на зварні та безшовні.

Зварні труби поділяють за формою зварного шва на прямошовні та спіралешовні. Для отримання прямошовних труб виконують попереднє формування трубної заготовки на прокатному стані, або на пресі з наступним зварюванням., де краї труби з'єднуються на спеціальних верстатах за допомогою струмів високої частоти. При цьому утворюється прямолінійний герметичний шов. Такий спосіб використовується для отримання труб середнього діаметру.

Для отримання спіралешовних здійснюють формування труби шляхом намотування стрічки або штаби під деяким кутом з наступним зварюванням країв піз флюсом. Такий метод використовується для отримання труб, які мають великі діаметри (до 2550 мм) зі смуг, що мають різну товщину. За таким методом підготовлену стручку подають до обладнання, яке формує зі стрічки спіраль під певним кутом. Після цього відбувається автоматичне електрозварювання шва по спіралі. Така технологія дозволяє отримати вироби, які мають високу жорсткість за рахунок спірального шва, що відіграє роль ребра жорсткості.

Безшовні труби, це вироби, що не мають зварних швів, чим забезпечується висока міцність та герметичність продукції. Безшовні труби отримують гарячекатаним методом та холоднодеформованим.

Гарячекатаний метод полягає у попередньому нагріванні трубної заготовки до пластичного стану і в наступній пластичній деформації. Використовується для труб, що мають середні розміри.

Холоднодеформований метод на вимагає попереднього нагрівання початкового матеріалу; обробка відбувається при кімнатній температурі. Використовується для дрібних труб, дозволяє отримати високу точність поверхні.

Порівнюючи технології виготовлення зварних та безшовних труб можна дійти висновку, що сортамент зварних труб значно ширший за сортамент

					КНУ.РБ.136.26.114с-04.01.ЗХАСВБТ	Аркуш
						1.6
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

безшовних труб. Зварні труби випускають діаметром від 8 мм до 1620 мм, безшовні труби мають діаметри від 25 мм до 550 мм. зварні труби можна виготовляти з меншим відношенням товщини стінки до діаметру. Таке відношення для зварних труб може бути до 0,005, для безшовних знаходиться в межах від 0,04 до 0,05. Мінімальна товщина стінки зварних труб менша за мінімальну товщину стінки безшовних. Для зварних вона дорівнює 1 мм, для безшовних 2, 5 мм. Максимальна товщина стінки у безшовних труб більша, як у зварних, для безшовних труб вона дорівнює 75 мм, для зварних 16 мм.

До недоліків зварних труб можна віднести те, що наявність зварного шва зменшує міцність та стійкість труби. Зварних шов має підвищену схильність до корозії та існує можливість деформації металу під впливом високих температур, можуть виникати зайві остаточні напруження. Зварні труби мають меншу надійність при роботі під високим тиском, потребують висококваліфікованих працівників для їх монтажу, складність монтажу збільшує вартість робіт на їх встановлення. Зварні труби можуть мати приховані дефекти зварного шву такі, як пропали, кратери, непровари. Ці явища знижують герметичність зварного шву.

Безшовні труби мають ряд переваг, до яких можна віднести наступне: відсутність зварного шву забезпечує високу міцність труби, виключається її здатність до руйнування шляхом розриву при підвищенні тиску, чим підвищується термін її служби; труби мають високу стійкість до механічних пошкоджень, до впливу агресивних середовищ, мають високу корозійну стійкість, не піддаються впливу агресивних середовищ, ржавінню, не схильні до утворення тріщин. Безшовні труби можуть працювати під дією високих температур без втрати їх властивостей. При прокатуванні такі труби мають гладку зовнішню поверхню, рівномірну товщину за усім поперечним перерізом, що забезпечує рівномірний потік рідини та газу.

Труба для газопостачання з розміром умовного проходу 40 мм, має зовнішній діаметр 48 мм, відноситься до труб малого діаметру. Для надійного

					КНУ.РБ.136.26.114с-04.01.3ХАСВБТ	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		1.7

газопостачання потрібно, щоб вона була здатна працювати під тиском. Тому вона повинна бути безшовною. Для отримання труби для газопостачання з діаметром умовного проходу 40 мм будемо використовувати спосіб гарячого прокатування.

Для отримання безшовних труб перевага надається вуглецевим звичайної якості та якісним сталям. Використовують наступні марки звичайної якості: Ст 1, Ст 2, якісні Сталь 10, 20, 35, 40, 45 тощо. Такі сталі мають перевагу через те, що у їх складі міститься мала кількість шкідливих домішок таких як сірка, фосфор.

Широко використовують також і леговані конструкційні матеріали марок 15Х, 30ХСА, 40Х, Але такі марки більш дорогі. Тому їх використовують для труб більш відповідального призначення.

Мають застосування корозійностійкі сталі марок Х18Н12Б, Х20Н14С2, що здатні працювати в агресивному середовищі. Використовують для отримання труб, з яких виготовляють підшипники, шарикопідшипникові марки сталей ШХ10, ШХ15.

Для газопостачання труби виготовляють з вуглецевої сталі, що має вміст вуглецю менше 0,27 %, наприклад Сталь 20. Такі труби мають високу міцність та довговічність, витримують високий тиск та перепади температур. Для захисту від корозії ці труби покривають антикорозійним шаром.

1.3 Гаряче прокатування труби

Гарячекатані сталеві труби це труби які отримані пластичною деформацією при високих температурах, що дозволяє забезпечити високу міцність труби, здатність витримувати значний тиск, такі труби з успіхом використовують для прокладення надійних, герметичних зовнішніх та магістральних газопроводів, які відповідають усім стандартам безпеки.

Процес отримання гарячекатаної труби полягає в наступному:

- 1) Отримання суцільної заготовки.
- 2) Отримання пустотілої гільзи з суцільної заготовки за допомогою прошивання.

					КНУ.РБ.136.26.114с-04.01.3ХАСВБТ	Аркуш
						1.8
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- 3) Розкочування отриманої гільзи в трубу.
- 4) Зменшення (редукування) або збільшення (роздача) діаметру отриманої заготовки.

Загальна технологічна схема отримання труби представлена на рис. 1.3.



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 різновтовщинності труби.

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

Для отримання безшовних труб можна використовувати як дискретні, так і безперервно-литі злитки, катану заготовку, або заготовку, що отримана на машині безперервної розливки сталі, заготовку, що отримано відцентровим литтям або ковану заготовку.

Зливки можуть бути круглого поперечного перерізу, багатогранного та квадратного. Їх переважно використовують для трубопрокатних агрегатів з пілігрімовим прокатним станом. Такі зливки мають масу від 1,5 т до 3,8 т та діаметр від 320 мм до 750 мм. Зливки круглого та багатогранного поперечного перерізу використовують на устаткуванні з прошивним прокатним станом, квадратного поперечного перерізу використовують при прошиванні на прошивному пресі.

Круглі злитки мають переваги в порівнянні з іншими через те, що дозволяє отримати труби з більш якісною зовнішньою поверхнею, яка не має ушкоджень. Велика маса таких злиwkів викликає ускладнення при обслуговуванні.

Більш розповсюджено використання заготовок, які також можуть бути круглого та квадратного поперечного перерізу. Круглого поперечного перерізу обробляють на прошивних станах, квадратного – на прошивних пресах.

Заготовка може бути отримана на трубо заготовочних станах або на машинах безперервної розливки сталі. Перевага надається безперервно-литим заготовкам, через те, що вони мають кращу внутрішню структуру, відсутність внутрішніх пор та тріщин, що забезпечує кращі механічні властивості готової труби при зменшенні вартості виробництва. Отримують безперервно-литі заготовки, переважно, на радіальних машинах безперервної розливки сталі через її компактність розташування в порівнянні з горизонтальними та вертикальними машинами та можливістю отримання якісної внутрішньої поверхні.

Спосіб прошивання заготовки залежить від форми її поперечного перерізу. Як і в попередньому випадку, можна використовувати прошивні прокатні стани для заготовок круглого або шестикутного поперечного перерізу, або прошивні преси для заготовок квадратного поперечного перерізу.

У випадку виготовлення безшовних труб з легованих та важкодеформованих матеріалів використовують відцентроволиті заготовки. Такі заготовки мають зовнішній діаметр до 900 мм. Відцентроволиті заготовки мають переваги при отриманні труб на пілігрімових та автоматичних станах.

					КНУ.РБ.136.26.114с-04.01.3ХАСВБТ	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		1.10

Проаналізував способи отримання початкової заготовки для виготовлення безшовних труб, віддаємо перевагу безперервно-литій заготовці, що отримана на радіальній машині розливки сталі через те, що вона має високу якість внутрішньої поверхні при мінімальних витратах на її отримання.

Отриману заготовку потрібно підготувати до прокатування. Така операція полягає у видаленні поверхневих дефектів, розрізанні її мірні довжини і центруванні.

Особливу увагу приділяють видаленні зовнішніх дефектів з поверхні заготовок тому, що такі дефекти погіршують зовнішній стан готової труби. При пластичній деформації, яка здійснюється при прокатуванні такі зовнішні дефекти, як плени, закати, волосовини, тріщини здатні збільшуватися. Ці дефекти видаляють вогневим зачищенням за допомогою газових горілок, або за допомогою пневматичних зубил, також зачищення можна виконувати за допомогою наждачних кругів.

Розрізання заготовок відбувається за допомогою прес ножиць або пил в холодному стані.

Прес ножиці використовують у тому випадку, коли відбувається розрізання заготовок з вуглецевих або легованих сталей, які мають межу міцності до 550 МПа та зовнішній діаметр до 150 мм. для розрізання заготовок, що мають зовнішній діаметр більший за 150 мм, використовують гідравлічні преси. Пили забезпечують більш якісну поверхню при розрізанні. Але вони мають не велику продуктивність процесу розрізання в порівнянні з пресами. Через це вони мають переваги при розрізання заготовок з важкодеформуємих матеріалів.

З метою максимального суміщення носка оправки під час прошивання суцільної заготовки з її віссю, виконується центрування. Це забезпечує зменшення різнотовщинності при прошиванні і, відповідно, різнотовщинності готової труби. При центруванні виконується поглиблення на торці заготовки. Центрування заготовки відбувається за допомогою свердління суцільного матеріалу.

					КНУ.РБ.136.26.114с-04.01.3ХАСВБТ	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		1.11

Перед гарячим прокатуванням відбувається нагрівання матеріалу в нагрівних печах до визначеної температури, яка залежить від марки матеріалу, що нагрівається. Якість отриманої труби в процесі прокатування та витрати енергії на процес, цілком, залежить від обраного режиму нагрівання. Режим нагрівання залежить від марки оброблюваного матеріалу, від його хімічного складу, від фізико-хімічних властивостей, від умов теплопередачі та від виду та конструкції нагрівної печі.

Для нагрівання перед прокатуванням труби використовують полум'яні або електричні печі. Але електричні печі є доволі дорогавартими через великі витрати електричної енергії, що збільшує собівартість готової труби. Тому, перевага надається полум'яним печам.

Використовують методичні печі, у яких здійснюється перехід трубної заготовки з менших високих до більш високих температурних зон.

Частіше за все використовують нагрівним кільцевим печах з обертаючим подом. При обробці під печі обертається з частотою $1/300 \text{ хв}^{-1}$. Температура нагрівання в печах залежить від хімічного складу оброблюваного матеріалу і складає $1100-1250^{\circ}\text{C}$. Ці печі прості за конструкцією та в обслуговуванні. В них відбувається якісне нагрівання через що їм надається перевага.

Після цього відбувається прошивання отвору в суцільному матеріалі за допомогою поперечно-гвинтового прокатування на прошивних прокатних станах (рис. 1.4).

При поперечно-гвинтовому прокатуванні оброблюваному матеріалу надається поступальний та обертальний рух, що забезпечується завдяки нахилу осей прокатних валків до осі заготовки у вертикальній площині. Цей кут нахилу φ має назву кута подачі. Також утворюється кут нахилу прокатних валків до осі заготовки у горизонтальній площині α , який має назву кута розкатки та зміщення положення осі заготовки до осі прокатного стану на відстань q . Ці данні і визначають тип прошивного прокатного стану і тип прокатних валків, які при цьому використовують. Прокатні валки прошивних станів можуть мати бочкоподібні, чашкоподібну та дискові прокатні валки.

					КНУ.РБ.136.26.114с-04.01.3ХАСВБТ	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		1.12

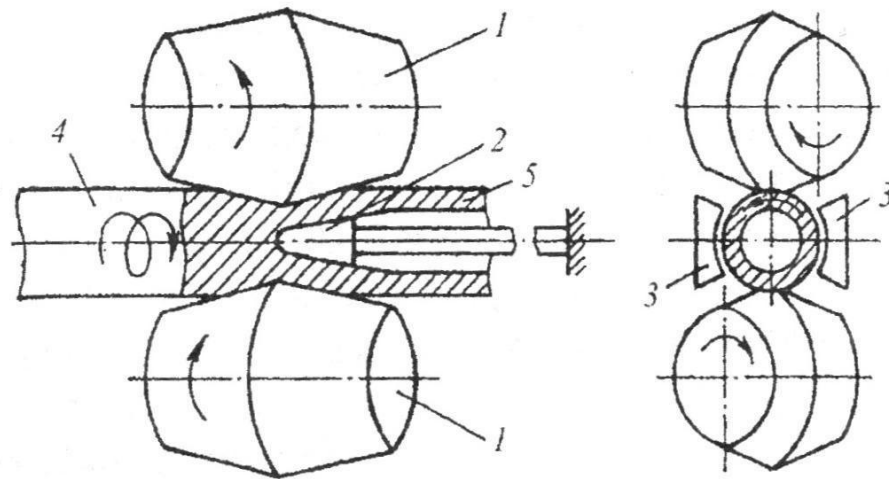


Рисунок 1.4 – Схема поперечно-гвинтового прокатування:

1 – прокатні валки; 2 – оправка; 3 – підтримуючі лінійки;

4 – оброблювана заготовка; 5 – прошита гільза

У випадку, коли $\varphi > 0$, $\alpha \approx 0$, $q \approx 0$, використовують пошивні стани з бочкоподібними валками. У випадку, коли $\varphi > 0$, $\alpha > 0$, $q \approx 0$, використовують прошивні стани з чашкоподібними валками, коли $\varphi = 0$, $\alpha > 0$, $q > 0$, використовують прошивні стани з дисковими прокатними валками.

При прошиванні на оброблюваний матеріал діють зусилля з боку оправки, з боку прокатних валків. В результаті цього виникають на окремих ділянках в зоні прошивання пружні та пружно-пластичні деформації. В центральній частині оброблюваного матеріалу в напрямку стискуючих зовнішніх зусиль виникають стискуючі напруження, в перпендикулярному напрямку до осі заготовки виникають розтягуючі напруження. Таким чином, в центральній частині оброблюваної заготовки виникає знакозмінна схема напруженого стану, де спочатку з'являється зона пластичної деформації тільки поблизу діючих зусиль, в подальшому зусилля збільшуються і зона пластичної деформації досягає центральної частини заготовки. в подальшому ця зона перетворюється на ділянку інтенсивної пластичної деформації, де виникають об'ємно-стискуючі напруження, чим створюють зону складної пластичної деформації в якій міститься об'ємна напружена ділянка, яка має два розтягуючих напруження.

					КНУ.РБ.136.26.114с-04.01.ЗХАСВБТ	Аркуш
						1.13
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Завдяки одночасному обертанню та переміщенню заготовки приводить до того, що напруження стає знакозмінним по відношенню постійного напрямку в металі. Цим і викликає руйнування середньої частини круглої суцільної заготовки і утворення отвору при прошиванні.

Прошивні стани за способом видачі прошитої гільзи з прокатної кліті класифікують на два види: з бічною видачою гільзи та з осьовою видачою гільзи. Прошивний стан з бічною видачою працює досить повільно через те, що втрачає час на відведення стрижня та наступне його встановлення і початкове положення, що відбувається при кожному циклі прошивання.

Прошивний стан з осьовою видачою гільзи є більш сучасним і продуктивним. На цьому стані видача гільзи здійснюється за допомогою фрикційних привідних роликів.

Для отримання труби, у якої діаметр умовного проходу дорівнює 40 мм, зовнішній діаметр 48 мм, обираємо дисковий прошивний стан з осьовою видачою гільзи.

Процеси поздовжнього прокатування труб здійснюються за допомогою оправки. Для цього використовують два виду оправок: коротку оправку та довгу оправку. Коротка оправка використовується для прокатування на двоклітьових прокатних станах. Вони не мають високої продуктивності при обробці.

Довга оправка використовується при прокатуванні на безперервних прокатних станах, що дозволяє утворити велику швидкість прокатування та високу продуктивність процесу.

Довгі оправки є більш прогресивним та перспективним інструментом, процес такого прокатування є більш економічно вигідним.

Конструктивні елементи оправки показані на рисунку 1.5. Вона складається з наступних частин: носова частина, деформуюча частина, калібруюча частина, зворотній конус.

					КНУ.РБ.136.26.114с-04.01.3ХАСВБТ	Аркуш
						1.14
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

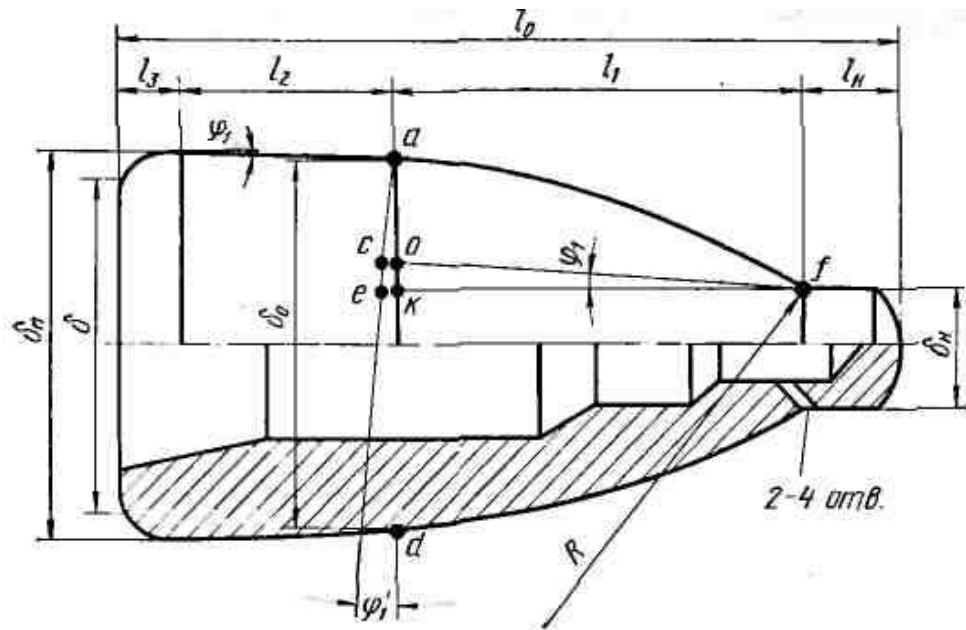


Рисунок 1.6. – Конструкція оправки: l_n – довжина носової частини;
 l_1 – зона деформуючої частини; l_2 – зона калібрувальної частини;
 l_3 – зона зворотного конусу; R – радіус закруглення переходу носової частини в деформуючу

Носик оправки призначено для точного центрування інструменту при прошиванні та підвищує його стійкість. На деформуючій ділянці виконується пластична деформація оброблюваного матеріалу. калібрувальна частина забезпечує підвищення рівномірності отвору, зменшення різнотовщинності. Зворотній конус призначено для полегшення виходу оправки з прошитого отвору. Зворотній конус приблизно дорівнює 5° . Зовнішній діаметр оправки відрізняється від діаметру потрібного отвору на величину розкатування.

При прокатуванні труби на двоклітьових трубопрокатних станах використовується кротка оправка. При обробці труби на бакатоклітьових безперервних трубопрокатних станах використовується довга оправка.

Для отримання вірного профілю труби використовують чотири типу калібрів (рис. 1.6), які відрізняються за формою: калібри круглої форми; калібри, що мають овальну форму; з випуском по дотичній лінії; з випуском по дузі окружності.

					КНУ.РБ.136.26.114с-04.01.3ХАСВБТ	Аркуш
						1.15
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

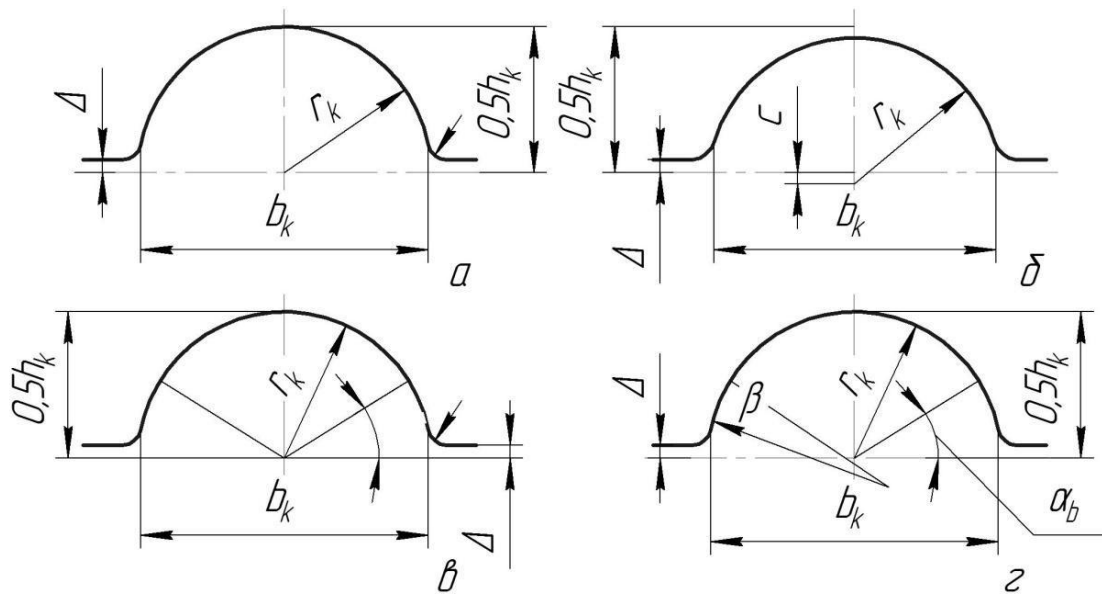


Рисунок 1.7 – Калібри, що використовуються на двовалкових трубопрокатних станах: *а* – круглої форми; *б* – овальної форми; *в* – з випуском по дотичній лінії; *г* – з випуском по дузі окружності.

Калібри, які мають круглу або овальну форму розповсюджено на трубопрокатних агрегатах з безперервним трубопрокатним станом, редукційних та калібрувальних трубопрокатних станах.

Калібри з випуском по дотичній та по дузі окружності використовують при прокатуванні на пілігримовому прокатному стані та автоматичному.

Форма калібрів має суттєвий вплив на характер розподілу сил у осередку деформації та загальне зусилля прокатування, на кінематику процесу та швидкість прокатування.

В якості кінцевих операцій при виготовленні труби застосовують відділочні та контрольні операції.

Відділочні операції відбуваються одночасно з операціями термічної або хіміко-термічної обробки. На характер відділочних операцій має суттєвий вплив конструктивне виконання та призначення труби.

Відділочними операціями вважаються наступні дії:

- відрізання кінців готової труби;
- розрізання отриманої труби на довжини;

					КНУ.РБ.136.26.114с-04.01.3ХАСВБТ	Аркуш
						1.16
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- огляд труби з метою виявлення зовнішніх дефектів, видалення дефектів при наявності;
- правка готової труби на правильних машинах;
- при необхідності – обробка кінців труби, нарізання різьби;
- обточування, шліфування та полірування труб для підвищення якості зовнішньої поверхні труби;
- маркування та пакування готової труби.

Розрізання труби на мірні довжини відбувається на металорізальних верстатах, для чого використовують різцеві, фрезові, дискові головки. Перевага надається процесу розрізання трубообробними та трубопідрізними верстатами з різцевими головками. На трубопідрізних верстатах здійснюється підрізка торця готової труби, утворення фаски та прибирання заусенців.

З метою уникнення відхилення труби від прямолінійності у поздовжньому напрямку та утворення овальності виконується правка труби.

Відомо декілька методів правки труби, основні з яких це:

- осьове розтягнення отриманої труби;
- одноразове пружно-пластичне вигинання труби;
- багаторазове пружно-пластичне вигинання труби.

Для того, щоб здійснити розтягування труби, використовують розтяжні машини.

Одноразове пружно-пластичне вигинання труби здійснюється на правильному пресі, що використовують для виправлення круглих та профільованих тонкостінних труб.

Для багаторазового пружно-пластичного вигинання використовують валково-правильні преси. Ці преси призначено для виправлення холоднодеформованих та гарячекатаних безшовних труб, а також для зварних труб, у яких зовнішній діаметр менший 700 мм.

Для отримання безшовної труби, яка має діаметр умовного проходу 40 мм, є середнє товщинною, будемо використовувати багаторазовий пружно-

					КНУ.РБ.136.26.114с-04.01.3ХАСВБТ	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		1.17

пластичний вигін. Такі операції дозволять отримати безшовні труби потрібного розміру та необхідної якості при мінімальній собівартості на виробництво.

Особлива увага приділяється ретельному контролю якості безшовної труби. Ретельно контролюють зовнішній вигляд на відсутність ушкоджень, номінальні розміри як зовнішні, так і внутрішні та їх граничні відхилення, овальність, різнотовщинність, хімічний склад.

Для цього використовують види контролю: проміжний та кінцевий; руйнуючий контроль та неруйнуючий.

Руйнуючими методами контролю вважаються наступні: контроль твердості поверхневого шару, ударної в'язкості, на розтягнення; контроль на згинання та сплющення. Такі види контролю здійснюються вибіркового, не великий відсоток) в спеціальних лабораторіях на спеціальному обладнанні.

При не руйнуючому контролі контролюють номінальні розміри труби, їх відхилення, якість поверхневого шару. Такий контроль здійснюється візуально або спеціальними пристроями. Відбувається такий контроль у цехах при виготовлення труби. Підлягає 100 % виготовленої продукції.

Таким чином в розділі було визначено обладнання для гарячого прокатування труби, що має діаметр умовного проходу 40 мм, де було віддано перевагу трубопрокатному агрегату з безперервним прокатним станом через те, що такий прокатний стан забезпечує виготовлення якісної безшовної труби з максимальною продуктивністю процесу. Визначено матеріал для виготовлення труби, де перевагу надано сталі 20. Визначено її механічні властивості. Прокатування відбувається на довгій оправці. В якості інструменту для прошивання перевагу надано дисковим прокатним валкам. При правці надано перевагу багаторазовому пружно-пластичному вигину за допомогою валково-правильних пресах, що забезпечують високу якість продукції.

					КНУ.РБ.136.26.114с-04.01.3ХАСВБТ	Аркуш
						1.18
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.4 Обладнання для отримання безшовної труби

Для отримання безшовних труб гарячим прокатуванням використовують трубопрокатні агрегати.

Трубопрокатний агрегат складається з машин і механізмів, які дозволяють отримати безшовні труби з суцільної заготовки пластичної деформацією матеріалу в гарячому стані, їх правкою та транспортуванням.

В своєму складі трубопрокатний агрегат має наступне обладнання:

- нагрівну піч;
- прошивний стан, який служить для утворення отвору в суцільній заготовці;
- трубопрокатне обладнання, яке утворює з гільзи чорнову трубу;
- розкатне устаткування, яке призначено для розкочування чорнової труби;
- редуційні стани, які призначено для зменшення діаметру труби;
- розширювальні стани, які призначені для збільшення діаметру труби;
- обкатні машини, які служать для підвищення якості труби, для надання точної форми трубі;
- калібрувальні прокатні стани, які служать для підвищення точності розмірів.

Для основної характеристики трубопрокатного агрегату використовують позначення, де вказується максимальний зовнішній діаметр труби, яку можна отримати на даному прокатному агрегаті. Наприклад, позначення: трубопрокатний агрегат з автоматичним станом 125 вказує на те, що труба отримується на трубопрокатному агрегаті, у складі якого присутній автоматичний прокатний стан, що дозволяє отримувати проби, які мають зовнішній діаметр до 125 мм. Також, інколи в маркуванні трубопрокатного агрегату вказують максимальний та мінімальний діаметр труб, що можна отримати. Наприклад, трубопрокатний агрегат з безперервним прокатним станом 25 – 120 вказує на те, що трубопрокатний агрегат має у своєму складі

					КНУ.РБ.136.26.114с-04.01.3ХАСВБТ	Аркуш
						1.19
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

безперервний прокатний стан, який забезпечить отримання труби з зовнішнім діаметром від 25 мм до 120 мм.

В залежності від прокатного стану, його будови та принципу дії усі трубопрокатні агрегати поділяють на;

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

Безперервні трубопрокатні агрегати призначені для отримання безшовних труб з зовнішнім діаметром від 8 мм до 430 мм з товщиною стінки від 2,5 мм до 26 мм. Такий трубопрокатний агрегат призначено для отримання труб з вуглецевої та легованої сталі. Він є багатоклітьовим, принцип дії цього агрегату – безперервний, суть якого полягає у одночасному деформуванні трубного виробу в декількох прокатних клітьх. Процес прокатування на цих станах здійснюється за допомогою довгої оправки.

В якості початкового матеріалу для прокатування на безперервному прокатному стані використовують пустотілі гільзи, які були прошиті на прошивному прокатному стані, або прошивному пресі.

У своєму складі безперервний прокатний стан має від 7 до 9 двовалкових прокатних клітей, у якого осі прокатних валків розташовують під кутом 90° одну до іншої.

Такі прокатні стани мають визначені переваги, які полягають в наступному:

- отримання безшовних труб точних розмірів великої довжини, яка може досягти більше 30 м;
- можуть працювати з великою швидкістю обробки, яка може досягти до 7 м/с;
- існує можливість отримання труб високої якості та точності через забезпечення всебічної пластичної деформації трубної заготовки.

					КНУ.РБ.136.26.114с-04.01.3ХАСВБТ	Аркуш
						1.20
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

На трубопрокатних агрегатах з автоматичним станом отримують безшовні труби з зовнішнім діаметром від 55 мм до 430 мм з товщиною стінки від 3 мм до 35 мм.

В якості початкового матеріалу для отримання безшовної труби на автоматичному прокатному стані використовують заготовки круглого поперечного перерізу, які отримані на трубозаготовочних або крупносортових прокатних станах. такі заготовки повинні мати зовнішній діаметр, який практично дорівнює зовнішньому діаметру готової труби.

У своєму складі автоматичних агрегат має нереверсивну прокатну кліть, що складається з двох прокатних валків, яка здатна автоматично повертати оброблювану трубу на передню сторону кліті, що здійснюється за допомогою відповідних роликів зворотної подачі. Напрямок обертання цих роликів спрямовано у протилежному напрямку до напрямку обертання прокатних валків. З метою забезпечення повертання оброблюваної труби у початкове положення верхній прокатний валок піднімається автоматично за допомогою клиноподібного устаткування, що створює збільшення зазору в калібрі і, відповідно, збільшення простору в цьому калібрі, що забезпечує рух труби у зворотному напрямку при обробці.

Такі умови прокатування є досить важкими, які призводять до посилення зношення оправки, що потребує її регулярної заміни. Для цього коли трубна заготовка повернулася на передню стороні прокатної кліті, потрібно терміново зняти оправку зі стрижня і встановити на її місце нову оправку. Далі, оправку повертають на 90° навколо своєї осі, а верхній прокатний валок встановлюють у робоче положення. В подальшому відбувається наступний прохід в той же самій послідовності.

Недолік такого агрегату: швидке зношення оправки, низька швидкість обробки, менша точність за попередній випадок.

Прокатування на пілігримових прокатних станах дозволяє отримати труби з зовнішнім діаметром від 56 мм до 560 мм з товщиною стінки від 2,3 мм до 55,0 мм. Особливість цих прокатних станів є те, що процес прокатування

					КНУ.РБ.136.26.114с-04.01.3ХАСВБТ	Аркуш
						1.21
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

здійснюється періодично. Прокатні валки на цих станах мають змінний радіус в калібрі. Цикл деформації трубної заготовки при обробці здійснюється за кожне обертання валків. Напрямок обертання пілігрімових прокатних валків спрямовано в протилежний напрямок течії металу, яка відбувається у осередку деформації при обтисненні. За кожен прохід деформується тільки не велика ділянка оброблюваного матеріалу. ця частина має назву об'єму подачі.

Процес пілігрімового прокатування має свої переваги:

- при обробці можна отримати великий коефіцієнт витяжки, який досягає 15;
- можна отримати безшовні труби профільного призначення, які мають квадратний, шестигранний поперечний переріз, можна одержати ступінчасті труби, конічного профілю труби;
- можна отримати товстостінні безшовні труби;
- не велика собівартість виробництва.

Початковий матеріал для отримання безшовних труб на пілігрімових трубопрокатних агрегатах – це катані або литі заготовки.

У своєму складі пілігрімовий трубопрокатний агрегат має наступне обладнання:

- дві нагрівні печі;
- прошивний прес, який має вертикальне або горизонтальне розташування;
- кільцеві печі, які служать для підігріву матеріалу;
- дві пілігрімові робочі кліті, де відбувається обтиснення матеріалу;
- ножиць для розрізання матеріалу;
- калібрувальний прокатний стан, який служить для збільшення точності обробки;
- редуційний прокатний стан, який служить для зменшення діаметру отриманої труби.

					КНУ.РБ.136.26.114с-04.01.ЗХАСВБТ	Аркуш
						1.22
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Особливості прокатування безшовних труб на пілігримовому прокатному стані полягають в наступному:

- калібр пілігримового прокатного стану має змінний поперечний переріз, який зменшується до виходу оброблюваного матеріалу;
- прокатування відбувається періодично, де цикл подачі заготовки чергується з циклом її повертання;
- при кожному періоді оброки матеріалу до калібру надходить матеріал, який має менший поперечний переріз за попередній;
- прокатування здійснюється у напрямку, який протилежний напрямку руху оброблюваного матеріалу.

Для отримання товстостінних труб, що мають зовнішній діаметр від 60 мм до 180 мм, застосовують трубопрокатні агрегати, які мають тривалковий розкатний прокатний стан. Таке прокатне обладнання дозволяє отримати труби високої точності та якості. В якості початкового матеріалу на цих прокатних станах використовують вуглецеві та леговані сталі.

Для отримання тонкостінних труб з зовнішнім діаметром від 40 мм до 200 мм та стінкою товщиною від 0,10 мм до 5,0 мм використовують тривалкові трубопрокатні агрегати косого прокатування. При прокатуванні на цих станах використовують вихідні матеріали, що мають круглий поперечний переріз з шарикопідшипникової сталі марки ШХ15, ШХ25. Вироби, отримані на таких агрегатах використовують для отримання кілець підшипників.

Трубопрокатні агрегати з тривалковими прокатними станами складаються з наступних вузлів та механізмів:

- прошивного прокатного стану для отримання отвору в суцільному матеріалі;
- розкатного прокатного стану для отримання труби з гільзи;
- калібрувального обладнання для підвищення точності труби.

Переваги трубопрокатного агрегату з тривалковими станами полягають в наступному:

					КНУ.РБ.136.26.114с-04.01.3ХАСВБТ	Аркуш
						1.23
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- агрегат має можливість швидкого перестоювання на отримання труб з різним зовнішнім діаметром; зміна розміру здійснюється завдяки наближенню або розведенню прокатних валків; можлива зміна товщини стінки труби завдяки зміни оправки;
- забезпечується можливість отримання трубу високої точності розмірів та якості поверхні;
- забезпечуються не великі припуски на механічну обробку отриманої труби.

Процес прокатування на такому обладнанні має свої особливості, які полягають у тому, що прокатування відбувається у валках, осі яких розташовують під деяким кутом (7° - 10°) до осі оброблюваного матеріалу; кожен прокатний валок встановлюють з невеликим перекосом до площі симетрії пройми станини, що забезпечує появу куту схрещування осей прокатних валків. Такий кут дорівнює: від 5° до 8° . Це викликає появу осьової сили прокатування, що забезпечує поступальний рух труби під час її обробки. На передньому боці трубопрокатного агрегату облаштовано обладнання, яке забезпечує введення оправки в гільзу, далі відбувається подача цієї гільзи разом з оправкою у прокатні валки обладнання.

Проаналізував існуюче трубопрокатне обладнання, дійшли висновку, що для отримання сталевих труби, яка має діаметр умовного проходу 40 мм, зовнішній діаметр 48 мм будемо використовувати безперервний трубопрокатний агрегат через те, що він є сучасним агрегатом, забезпечує високу швидкість обробки і, відповідно, високу продуктивність процесу. При прокатуванні на такому стані відбувається рівномірна деформація матеріалу з усіх боків, що дозволяє отримати високу якість продукції.

					КНУ.РБ.136.26.114с-04.01.3ХАСВБТ	Аркуш
						1.24
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2 РОЗРОБКА ОНОВЛЕНОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ГАРЯЧОГО ПРОКАТУВАННЯ СТАЛЕВОЇ ТРУБИ, ЩО МАЄ ДІАМЕТР УМОВНОГО ПРОХОДУ 40 мм

2.1 Послідовність технологічних операцій з виготовлення сталеві труби, що має діаметр умовного проходу 40 мм, на трубопрокатному агрегаті з безперервним прокатним станом

Вихідні дані для розробки технології виготовлення безшовної сталеві труби наступні:

- призначення труби – для газопроводів;
- діаметр умовного проходу $d_y = 40$ мм;
- зовнішній діаметр труби $d_{zm} = 48$ мм;
- товщина стінки труби $t = 4$ мм;
- діаметр початкової заготовки $d_0 = 60$ мм;
- довжина початкової заготовки дорівнює $L_0 = 6$ м;
- марка матеріалу Сталь 20;
- межа міцності $\sigma_B = 410$ Н/мм²;
- межа пластичності $\sigma_B = 245$ Н/мм²;
- температура плавлення 1500°C;
- відносне подовження – не менше 25%;
- відносне звуження – не менше 55%.

Проаналізувавши можливі способи отримання сталеві безшовної труби, що має діаметр умовного проходу 40 мм, дістали висновку, що таку трубу можна отримати гарячим прокатуванням на трубопрокатному агрегаті з безперервним прокатним станом. Такий прокатний стан має свою переваги через те, що існує можливість, при використанні відповідних калібрів, отримати точні розміри

					КНУ.РБ.136.26.114с-04.02.РОТПГПСТ			
Вим.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата				
Розробив		Коростельов			РОЗРОБКА ОНОВЛЕНОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ГАРЯЧОГО ПРОКАТУВАННЯ СТАЛЕВОЇ ТРУБИ	Літ.	Аркуш	Аркушів
Перевірив		Чубенко					2.1	22
Рецензент						Кафедра МЧМЛВ гр. ЗМТ-22-1		
Н. контр.		Чубенко						
Затвердив		Бабошко						

безшовної труби при високій швидкості обробки і, відповідно, високу продуктивність.

Проаналізувавши існуючі калібри, дійшли висновку, що для отримання якісної труби, що має зовнішній діаметр 48 мм, потрібно використовувати круглі калібри.

Діаметр прокатних валків при прокатуванні на безперервному стані дорівнює $D_6 = 600$ мм.

Технологія отримання потрібної труби складається з наступних операцій:

1. Підготування вихідного матеріалу для гарячого прокатування. В якості вихідного матеріалу будемо використовувати безперервно-литу заготовку круглого поперечного перерізу, що має діаметр в поперечному перерізу 60 мм. Таку заготовку пропонується отримати на машині безперервної розливки сталі радіального типу.

2. Нагрівання початкової заготовки в кільцевій методичній печі до температури 1200°C.

3. Прошивання нагрітої суцільної заготовки на прошивному стані з використанням дискових прокатних валків та оправки.

4. Прокатування прошитої гільзи на безперервному трубопрокатному стані на довгій оправці з використанням круглих калібрів.

5. Видалення оправки з утвореного отвору.

6. Калібрування отриманої труби в холодному стані з метою надання точних розмірів та високої якості отриманої труби, усунення овальності та різнотовщинності.

7. Відділка отриманої труби, де виконується багаторазовий пружно-пластичний вигин.

8. Контроль якості труби.

9. Маркування і пакування отриманої труби.

Після прошивання суцільного матеріалу отримали товстостінну гільзу, яка має внутрішній діаметр 38 мм. Після виходу з прошивання на отриману гільзу

					КНУ.РБ.136.26.114с-04.02.РОТППСТ	Аркуш
						2.2
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

наносять підзмащувальний шар. При прокатуванні на безперервному прокатному стані з метою змащення отриманого отвору, подають рідину.

При прокатуванні на безперервному трубопрокатному агрегаті використовують довгі оправки, які мають гладку чисту поверхню без будь яких дефектів, не повинні мати на своїй поверхні тріщини або надриви, раковини або вибоїни.

При гарячому прокатуванні труби на безперервному прокатному стані прокатні валки разом з довгими оправкам повинні охолоджуватися водою. Таке охолодження відбувається під час пауз, які виникають при проходженні труби.

Після прокатування зовнішня поверхня не повинна мати будь-яких дефектів.

Схему гарячого прокатування безшовної сталеві труби на безперервному трубопрокатному агрегаті показано на рис. 2.1.

Зі схеми видно послідовність розташування обладнання для забезпечення виготовлення якісної труби та послідовність технологічних операцій.

Зі схеми, що представлено на рис. 2.1 видно, що безперервний трубопрокатний агрегат складається з основних вузлів та механізмів:

- нагрівної кільцевої печі, яка забезпечує нагрівання безперервно-ливої круглої заготовки до температури 1200°C;
- ножиці для розрізання відрізання переднього кінця безперервно-ливої заготовки;
- устаткування для центрування безперервно-ливої заготовки;
- прошивний стан для утворення отвору в суцільній заготовці;
- устаткування для вставлення оправки в отриману товстостінну гільзу;
- багатоклітьовий безперервний трубопрокатний стан;
- устаткування для вилучення оправки;
- холодильник для оправки;

					КНУ.РБ.136.26.114с-04.02.РОТППСТ	Аркуш
						2.3
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

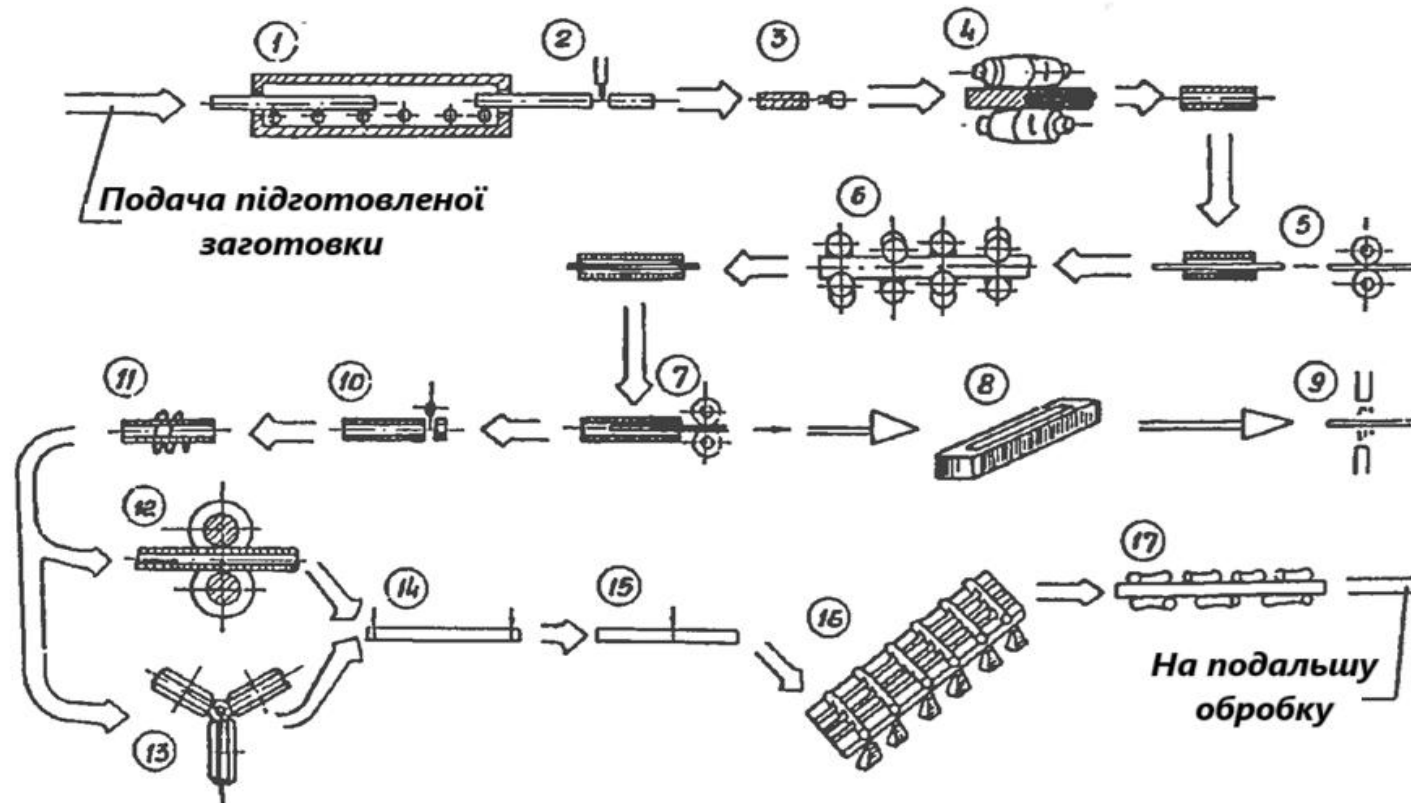


Рисунок 2.1 – Технологічна схема гарячого прокатування труби на безперервному трубопрокатному агрегаті:

1 – нагрівання початкового матеріалу; 2 – розрізання; 3 – центрування суцільної заготовки; 4 – прошивання отвору; 5 – вставлення оправки в гільзу; 6 – прокатування; 7 – вилучення оправки; 8 – охолодження оправки; 9 – змащення оправки; 10 – відрізання кінця труби; 11 – підігрів труби; 12 – калібрування труби; 13 – редукування труби; 14 – відрізка кінців; 15 – розрізання матеріалу на стандартні довжини; 16 – охолодження на холодильнику; 17 – правка і контроль

- змащувальний пристрій;
- ножиці для відрізання кінців труби;
- індуктор для підігріву;
- калібрувальний стан для підвищення якості;
- редукційний стан для зміни діаметр труби;
- ножиці;
- холодильник труби;
- роликотправильні машини

2.2 Прошивання суцільної безперервно-ливої заготовки

В якості вихідного матеріалу використовується суцільна сталеві безперервно-лива заготовка, яка має круглий поперечний переріз. при прошиванні у цій заготовці потрібно створити отвір, який за розмірами менший за отвір у готовій трубі і дорівнює 38 мм.

Для прошивання суцільної безперервної заготовки будемо використовувати прошивний прокатний стан косоного прокатування, якій має дискові прокатні валки, що забезпечити якісний отвір у гільзі, потрібних розмірів при мінімальних витратах на виробництво. Процес прошивання з використанням такого обладнання здійснюється за схемою, що наведено н рис. 2.2.

Прошивання заготовки буде виконано на прошивному стані косоного прокатування з дисковими прокатними валками (рис. 2.2).

З рисунку видно, що схема прошивання з використанням дискових валків засновано на зміщенні осі заготовки відносно площини, яка знаходиться на осі валків.

За такою схемою осі дискових валків повернуті до осі безперервно-ливої заготовки на кут β . В розрахунках колову швидкість прокатних валків розкладають на V_e дві складові в точках дотику A та B . Впродовж осі прокатування діє швидкість U_e , а перпендикулярно до осі прокатування спрямована швидкість W_e . Такі дії забезпечують поперечно-гвинтовий рух

					КНУ.РБ.136.26.114с-04.02.РОТППСТ	Аркуш
						2.5
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

оброблюваної заготовки. відповідно до цієї схеми при обробці виникає кут подачі, який визначається кутом нахилу осі прокатних валків до осі безперервно-литої заготовки.

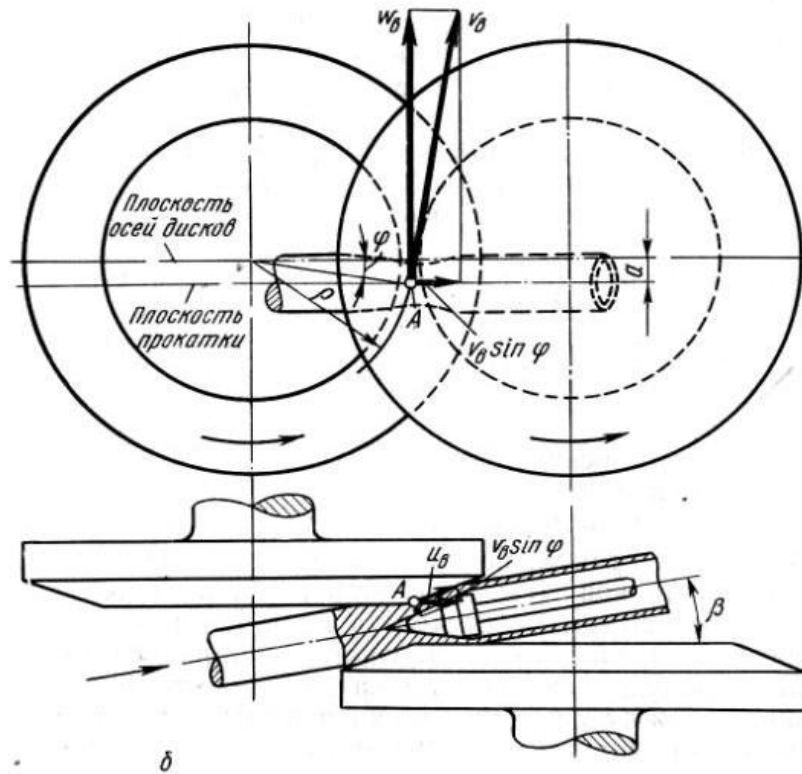


Рисунок 2.2 – Схема прошивання отвору в суцільному матеріалі на станах косого прокатування при використанні дискових валків

2.3 Устаткування безперервного трубопрокатного стану

Безперервний трубопрокатний стан використовують для розкатування труби з товстостінної гільзи.

На рисунку 2.3 показано схему безперервного трубопрокатного стану, де видно, що він складається з дев'яти прокатних клітей, які мають вертикальні та горизонтальні прокатні кліті, що чергуються між собою. На схемі наведено поперечні перерізи труби: на початковому етапі – переріз *A-A*, переріз труби, що отримують в вертикальних прокатних клітях – *Б-Б*, переріз труби, що отримують

					КНУ.РБ.136.26.114с-04.02.РОТПГПСТ	Аркуш
						2.6
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

в горизонтальних прокатних клітках – $B-B$ і переріз готової труби – $\Gamma-\Gamma$. Таке чергування прокатних клітей забезпечує всебічне обтиснення матеріалу внаслідок чого отримується якісна поверхня безшовної труби, що має точні розміри з мінімальними відхиленнями.

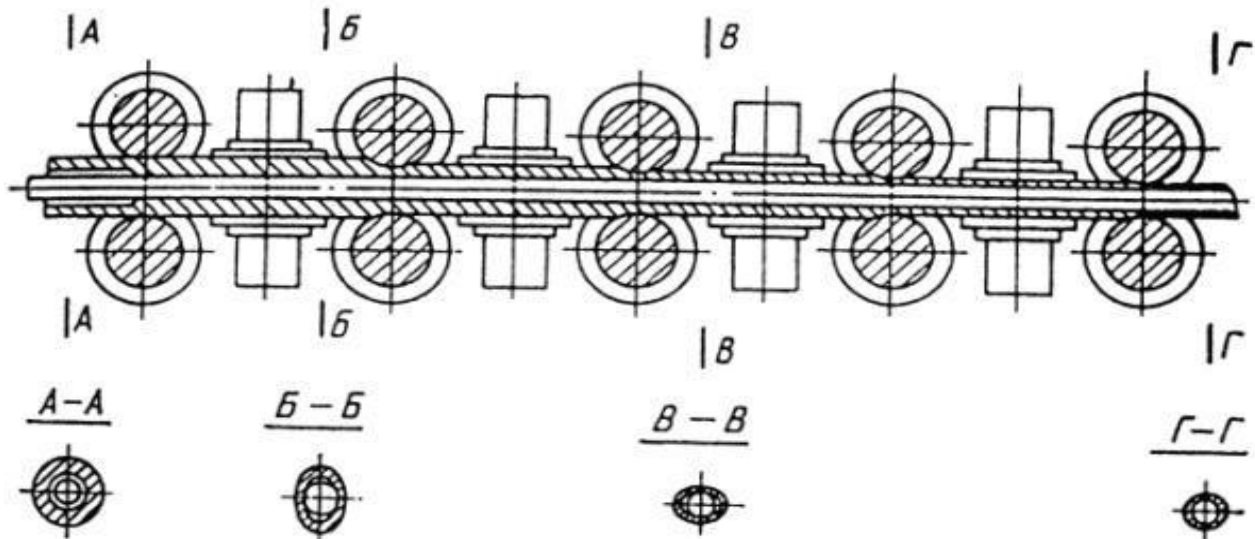


Рисунок 2.3 – Розташування прокатних клітей безперервного трубoproкатного стану

Прокатні валки для даного прокатного стану виготовляють з легованого матеріалу 60ХГ, що забезпечує високу їх міцність, зносостійкість та можливість отримання точних розмірів труби.

2.3 Параметри та коефіцієнти деформації при гарячому прокатуванні труби на безперервному трубoproкатному агрегаті

В осередку деформації при прокатуванні відбувається пластична деформація, яка характеризується відповідними коефіцієнтами та параметрами.

Здійснюється абсолютне обтиснення за зовнішнім діаметром Δd_3 , яке розраховується за формулою:

$$\Delta d_3 = d_0 - d_{3T}, \quad (2.1)$$

					КНУ.РБ.136.26.114с-04.02.РОТППІСТ	Аркуш
						2.7
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де d_0 – зовнішній діаметр безперервно-ливої заготовки;

$d_{3т}$ – зовнішній діаметр готової труби.

Після підстановки відповідних розмірів труби, отримаємо:

$$\Delta d_3 = 60 - 48 = 12 \text{ мм.}$$

Відносне обтиснення за діаметром труби визначається за формулою:

$$\varepsilon_d = \frac{\Delta d_3}{d_0} 100\%. \quad (2.2)$$

Після підстановки розмірів труби, отримаємо:

$$\varepsilon_d = \frac{12}{60} 100\% = 20\%.$$

Після прошивання було отримано отвір у суцільній безперервно-литій заготовці $d_{от} = 38 \text{ мм.}$

Виходячи з цього, отримали товщину гільзи при прошиванні:

$$t_0 = d_0 - d_{от}. \quad (2.3)$$

Підставив відповідні значення отвору труби, отримаємо товщину гільзи при прошиванні:

$$t_0 = 60 - 38 = 22 \text{ мм.}$$

Абсолютне обтиснення за стінкою труби визначається за формулою:

$$\Delta t_0 = t_0 - t, \quad (2.4)$$

Підставив відповідні значення товщини труби, отримаємо:

$$\Delta t_0 = 22 - 4 = 18 \text{ мм.}$$

Відносне обтиснення за стінкою труби розраховується за формулою:

$$\varepsilon_t = \frac{\Delta t_0}{t_0} 100\%. \quad (2.5)$$

Підставив необхідні дані для труби, отримаємо відносне обтиснення за стінкою труби:

$$\varepsilon_t = \frac{18}{22} 100\% = 81\%.$$

					КНУ.РБ.136.26.114с-04.02.РОТППСТ	Аркуш
						2.8
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

При прокатуванні в осередку деформації утворюється довжина дуги контакту оброблюваної труби з прокатним валком, яка при його вершини визначається за формулою:

$$l_{kз} = \sqrt{R_0(d_0 - d_1)}, \quad (2.6)$$

де R_0 – радіус прокатного валка, який дорівнює:

$$R_0 = \frac{D_B}{2} = \frac{600}{2} = 300 \text{ мм.}$$

Після підстановки відповідних розмірів, отримаємо довжину контакту:

$$l_{kз} = \sqrt{300(60 - 48)} = 60 \text{ мм.}$$

Кут захоплення визначається за формулою:

$$\alpha_3 = \arccos\left(1 - \frac{\Delta d}{D_B}\right). \quad (2.7)$$

Після підстановки відповідних значень для трубопрокатного стану, отримаємо:

$$\alpha_3 = \arccos\left(1 - \frac{12}{600}\right) = 11,5^\circ.$$

Поперечний переріз безперервно-ливої заготовки F_0 визначається за формулою:

$$F_0 = \pi \frac{d_0^2}{4}. \quad (2.8)$$

Після підстановки діаметру безперервно-ливої заготовки, отримаємо:

$$F_0 = 3,14 \frac{60^2}{4} = 2826 \text{ мм}^2.$$

Для розрахунку площі поперечного перерізу готової труби скористаємося формулою:

$$F_T = \pi R_T^2 - [\pi(R_T - t)^2], \quad (2.9)$$

де R_T – радіус готової труби, $R_T = \frac{d_{зт}}{2} = \frac{48}{2} = 24 \text{ мм.}$

Після підстановки кінцевих розмірів готової труби, отримаємо:

$$F_T = 3,14 \cdot 24^2 - [3,14 \cdot (24 - 4)^2] = 552,64 \text{ мм}^2.$$

					КНУ.РБ.136.26.114с-04.02.РОТППІСТ	Аркуш
						2.9
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Загальний коефіцієнт знаходиться за формулою:

$$\lambda = \frac{F_0}{F_T}. \quad (2.10)$$

Підставив відповідні значення, отримаємо, що загальний коефіцієнт витяжки дорівнює: $\lambda = \frac{2826}{552,64} = 5,11$.

Після прошивання отримаємо гільзу, яка має зовнішній діаметр такий, як і у безперервно-литої заготовки $d_3 = 60$ мм, діаметр отвору $d_{от} = 38$ мм.

Площа поперечного перерізу гільзи, яка отримана при прошиванні дорівнює:

$$F_T = 3,14 \cdot 30^2 - [3,14 \cdot (30 - 19)^2] = 2452 \text{ мм}^2.$$

При прошиванні отвору відбулася витяжка:

$$\lambda = \frac{2826}{2452} = 1,15.$$

Після прошивання отриману довжину гільзи можна визначити за формулою:

$$L_T = L_0 \cdot \lambda, \quad (2.11)$$

де L_0 – довжина безбарвно-литої заготовки, $L_0 = 6$ м.

Після підстановки, отримаємо:

$$L_T = 6 \cdot 1,15 = 6,9 \text{ м.}$$

При прокатуванні на безперервному трубопрокатному стані потрібно виконати витяжку:

$$\lambda_6 = \frac{2452}{552,64} = 4,43.$$

Отриманий коефіцієнт витяжки потрібно рівномірно розподілити між прокатними клітями безперервного прокатного стану.

З урахуванням витяжки отримаємо загальну довжину труби:

$$L_T = 6,9 \cdot 4,43 = 30,6 \text{ м.}$$

Отримані параметри заносимо в табл. 2.1.

					КНУ.РБ.136.26.114с-04.02.РОТППСТ	Аркуш
						2.10
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.1 – Результати визначення параметрів прокатування

Продукт	F , мм ²	d , мм	Δd , мм	t , мм	$d_{от}$, мм	ε_d , %	λ	L , м
Заготовка	2826,0	60,0	-	-	-	-	-	6,0
Гільза	2452,0	60,0	-	22	38	-	1,15	6,9
Труба	552,64	48,0	12	4	40	20	4,43	30,6

З таблиці 2.1 видно, що площа поперечного перерізу зменшується, як при отриманні товстостінної гільзи, так і при прокатуванні на безперервному трубопрокатному стані. Зовнішній діаметр виробу при прошиванні гільзи не змінюється, лише утворюється отвір, довжина матеріалу збільшується через те, що здійснюється його витяжка при прокатуванні.

При прокатуванні труби відбувається витяжка за усіма калібрами, що збільшує довжину оброблюваного матеріалу.

Потрібно дослідити, як змінюється витяжка за прокатними клітями.

Для визначення коефіцієнту витяжки за кожною прокатною кліттю застосуємо формулу:

$$\lambda_i = \sqrt[n]{\lambda_6}, \quad (2.12)$$

де n – загальна кількість клітей, яка задіяна на безперервному прокатному стані, $n = 9$ клітей;

Після підстановки відповідних значень будемо мати:

$$\lambda_i = \sqrt[9]{4,43} \approx 1,18.$$

Розподіляємо отримане значення витяжки на дев'ять прокатних клітей.

$$\lambda_1 = 1,18; \lambda_2 = 1,18; \lambda_3 = 1,18; \lambda_4 = 1,18; \lambda_5 = 1,18; \lambda_6 = 1,18;$$

$$\lambda_7 = 1,18; \lambda_8 = 1,18; \lambda_9 = 1,178.$$

Такий розподіл дозволяє отримати точний розмір кінцевого виробу.

Отримані коефіцієнти витяжки заносимо в таблицю 2.2.

При прокатуванні на безперервному прокатному стані при проході від чорнових до чистових прокатних клітей площа поперечного перерізу виробу зменшується через те, що відбувається витяжка.

					КНУ.РБ.136.26.114с-04.02.РОТППСТ	Аркуш
						2.11
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

На виході з останньої дев'ятої прокатної кліті ми маємо площу поперечного перерізу $F_T = 552,64 \text{ мм}^2$. При цьому кінцевий діаметр готової труби дорівнює: $d_T = 48 \text{ мм}$, діаметр умовного проходу, який дорівнює внутрішньому діаметру труби дорівнює $d_{\text{вн}} = 40 \text{ мм}$, товщина стінки дорівнює $t = 4 \text{ мм}$, довжина готової труби дорівнює $L_T = 30,6 \text{ м}$.

При прошиванні було утворено гільзу, яка має внутрішній діаметр $d_{\text{виг}} = 38 \text{ мм}$. При прокатування на безперервному трубопрокатному стані було здійснено розширення труби:

$$\Delta t_{\text{вн}} = 40 - 38 = 2 \text{ мм.}$$

Таке розширення розподілимо для зручності прокатування між двома першими прокатними клітями і отримаємо: $\Delta t_{\text{вн1}} = 1 \text{ мм}$; $\Delta t_{\text{вн2}} = 1 \text{ мм}$.

Тоді отримаємо внутрішній діаметр після першого калібру:

$$d_{\text{вн1}} = 39 \text{ мм.}$$

Після другого калібру $d_{\text{вн1}} = 40 \text{ мм}$.

Таким чином, після другого проходу на безперервному трубопрокатному стані отримали потрібний діаметр умовного проходу труби після другого калібру.

Виконаємо розрахунки розмірів усіх калібрів безперервного трубопрокатного стану. Площу поперечного перерізу розкату будемо визначати за формулою:

$$F_{i-1} = F_i \cdot \lambda_i. \quad (2.13)$$

Діаметр отриманого розкату можна визначити з залежності.

Довжину розкату будемо визначати за формулою:

$$L_{i-1} = L_i \cdot \lambda_i. \quad (2.14)$$

На виході з передчистового (восьмого) калібру площа поперечного перерізу виробу буде дорівнювати:

$$F_8 = 552,64 \cdot 1,178 = 651,0 \text{ мм.}$$

					КНУ.РБ.136.26.114с-04.02.РОТППІСТ	Аркуш
						2.12
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

На виході з сьомого калібру площа поперечного перерізу виробу буде дорівнювати:

$$F_7 = 651,0 \cdot 1,18 = 768,2 \text{ мм.}$$

На виході з шостого калібру площа поперечного перерізу виробу буде дорівнювати:

$$F_6 = 768,2 \cdot 1,18 = 906,47 \text{ мм.}$$

На виході з п'ятого калібру площа поперечного перерізу виробу буде дорівнювати:

$$F_5 = 906,47 \cdot 1,18 = 1069,63 \text{ мм.}$$

На виході з четвертого калібру площа поперечного перерізу виробу буде дорівнювати:

$$F_4 = 1069,63 \cdot 1,18 = 1262,16 \text{ мм.}$$

На виході з третього калібру площа поперечного перерізу виробу буде дорівнювати:

$$F_3 = 1262,16 \cdot 1,18 = 1489,35 \text{ мм.}$$

На виході з другого калібру площа поперечного перерізу виробу буде дорівнювати:

$$F_2 = 1489,35 \cdot 1,18 = 1757,44 \text{ мм.}$$

На виході з першого калібру площа поперечного перерізу виробу буде дорівнювати:

$$F_1 = 1757,44 \cdot 1,18 = 1933,18 \text{ мм.}$$

Результати розрахунку отриманих площин за кожним проходом заносимо в табл. 2.2.

При прокатуванні довжина труби змінюється з урахуванням коефіцієнти витяжки. Відбувається її подовження від кліті до кліті.

Довжина прошитої гільзи дорівнює: $L_r = 6,9 \text{ м.}$

На виході з першої прокатної кліті довжина буде дорівнювати:

$$L_1 = 6,9 \cdot 1,18 = 8,142 \text{ м.}$$

					КНУ.РБ.136.26.114с-04.02.РОТППСТ	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		2.13

На виході з другої прокатної кліті довжина буде дорівнювати:

$$L_2 = 8,142 \cdot 1,18 = 9,6 \text{ м.}$$

На виході з третьої прокатної кліті довжина буде дорівнювати:

$$L_3 = 9,6 \cdot 1,18 = 11,34 \text{ м.}$$

На виході з четвертої прокатної кліті довжина буде дорівнювати:

$$L_4 = 11,34 \cdot 1,18 = 13,38 \text{ м.}$$

На виході з п'ятої прокатної кліті довжина буде дорівнювати:

$$L_5 = 13,38 \cdot 1,18 = 15,78 \text{ м.}$$

На виході з шостої прокатної кліті довжина буде дорівнювати:

$$L_6 = 15,78 \cdot 1,18 = 18,6 \text{ м.}$$

На виході з сьомої прокатної кліті довжина буде дорівнювати:

$$L_7 = 18,6 \cdot 1,18 = 21,98 \text{ м.}$$

На виході з восьмої прокатної кліті довжина буде дорівнювати:

$$L_8 = 21,98 \cdot 1,18 = 25,94 \text{ м.}$$

На виході з дев'ятої прокатної кліті довжина буде дорівнювати:

$$L_9 = 25,94 \cdot 1,178 = 30,6 \text{ м.}$$

Отримані довжини за кожним проходом заносимо в таблицю 2.2.

Відношення зовнішніх діаметрів при прокатуванні дорівнює:

$$\mu_d = \frac{d_r}{d_t} = \frac{60}{48} = 1,25.$$

Розподіляємо це відношення між дев'ятьма прокатними клітями:

$$\mu_d = \sqrt[9]{1,25} = 1,025.$$

Отримаємо умовний зовнішній діаметр після першого проходу:

$$d_{31} = 60 : 1,025 = 57,1 \text{ мм.}$$

Умовний зовнішній діаметр після другого проходу:

$$d_{32} = 60 : 1,025 = 57,1 \text{ мм.}$$

Умовний зовнішній діаметр після третього проходу:

$$d_{33} = 57,1 : 1,025 = 55,7 \text{ мм.}$$

Умовний зовнішній діаметр після четвертого проходу:

$$d_{34} = 55,7 : 1,025 = 54,3 \text{ мм.}$$

					КНУ.РБ.136.26.114с-04.02.РОТППСТ	Аркуш
						2.14
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Умовний зовнішній діаметр після п'ятого проходу:

$$d_{35} = 54,3 : 1,025 = 52,98 \text{ мм.}$$

Умовний зовнішній діаметр після шостого проходу:

$$d_{36} = 52,94 : 1,025 = 51,69 \text{ мм.}$$

Умовний зовнішній діаметр після сьомого проходу:

$$d_{37} = 51,69 : 1,025 = 50,43 \text{ мм.}$$

Умовний зовнішній діаметр після восьмого проходу:

$$d_{38} = 50,43 : 1,025 = 49,2 \text{ мм.}$$

Умовний зовнішній діаметр після дев'ятого проходу:

$$d_{39} = 49,2 : 1,025 = 48,0 \text{ мм.}$$

Результати розрахунків умовних зовнішніх діаметрів за кожним проходом заносимо в табл. 2.2

2.5 Швидкісні умови поздовжнього прокатування труби в круглих калібрах

Прокатування труби на безперервному трубопрокатному стані відбувається в круглих калібрах, унаслідок чого розмір прокатного валка в поперечному перерізі калібру змінюється.

Профіль круглого калібру та епіюра розподілу швидкості на ньому наведено на рисунку 2.4.

Обтиснення матеріалу прокатними валками здійснюється з постійною кутовою швидкістю, яка розраховується за формулою:

$$\omega_g = \pi n_g / 60, \text{ м/хв.}; \quad (2.15)$$

де n_g – швидкість обертання прокатних валків, за поперечним перерізом калібру вона не змінюється, а залишається постійною, $n_g = 360 \text{ об/хв.}$

Підставив відповідні значення, отримаємо кутову швидкість при прокатуванні на безперервному трубопрокатному агрегаті:

$$\omega_g = 3,14 \cdot \frac{360}{60} = 18,84 \text{ м/хв.}$$

					КНУ.РБ.136.26.114с-04.02.РОТППІСТ	Аркуш
						2.15
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Прокатування з цієї швидкістю здійснюється за усім поперечним перерізом калібру.

Через зміну діаметру валка в калібру лінійна швидкість прокатних валків змінюється за поперечним перерізом круглого калібру.

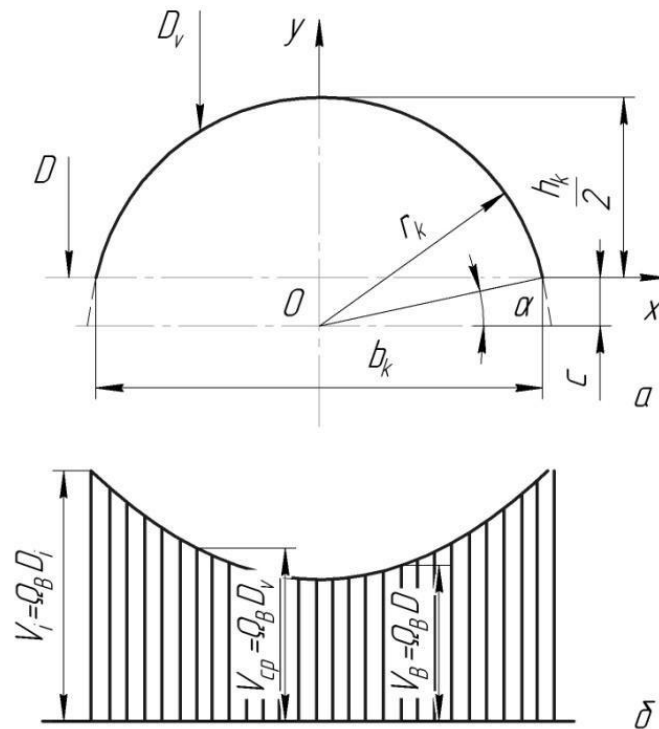


Рисунок 2.4 – Схема профілю круглого калібру безперервного трубопрокатного стану (а), епюра розподілу швидкості металу в круглому калібрі при обробці (б)

Мінімальне її значення буде спостерігатися при вершині калібру, а максимальне – у основи калібру.

Лінійну швидкість прокатних валків можна визначити за формулою:

$$v_i = \omega_{\delta} \cdot D_i, \quad (2.16)$$

де v_i – лінійна швидкість валків в i -й точці круглого калібру;

D_i – діаметр валка в i -й точці калібру.

Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Номінальний діаметр прокатного валка дорівнює 600 мм, що відповідає його діаметру по буртам. При вершині калібру діаметр валка зменшується на величину зовнішнього діаметру труби.

Для чистового прокатного валка його діаметр при вершині дорівнює:

$$600 - 48 = 552 \text{ мм.}$$

Підставив відповідні значення, отримаємо швидкість прокатних валків у вершини калібру буде складати: $v_6 = 0,314 \cdot 552 = 173,3 \text{ мм/хв.} = 9,97 \text{ м/с.}$

По буртах калібру швидкість буде дорівнювати:

$$v_6 = 0,314 \cdot 600 = 188,4 \text{ мм/хв.} = 11,28 \text{ м/с.}$$

Таким чином, ми отримали змінну окружну швидкість, яка змінюється в межах від 9,97 м/с до 11,28 м/с в чистовому калібрі.

Знаходимо середню швидкість в останньому калібрі:

$$v_{cp} = \frac{9,97 + 11,28}{2} = 10,6 \text{ м/с.}$$

В кожній прокатній кліті середня швидкість змінюється з врахуванням коефіцієнту витяжки, що розраховується за формулою:

$$v_{cpi} = \frac{v_{cpi+1}}{\lambda_{i+1}}, \quad (2.17)$$

де v_{cpi+1} – швидкість прокатування в попередній кліті;

λ_{i+1} – коефіцієнт витяжки в попередній прокатній кліті.

Тоді отримаємо швидкість прокатування в передчистовій (восьмій) прокатній кліті дорівнює:

$$v_{cp8} = \frac{10,6}{1,178} = 8,998 \approx 9,0 \text{ м/с.}$$

Швидкість прокатування в сьомій прокатній кліті дорівнює:

$$v_{cp7} = \frac{8,998}{1,18} = 7,6 \text{ м/с.}$$

Швидкість прокатування в шостій прокатній кліті дорівнює:

$$v_{cp6} = \frac{7,6}{1,18} = 6,46 \text{ м/с.}$$

Швидкість прокатування в п'ятій прокатній кліті дорівнює:

$$v_{cp5} = \frac{6,46}{1,18} = 5,5 \text{ м/с.}$$

					КНУ.РБ.136.26.114с-04.02.РОТППСТ	Аркуш
						2.17
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Швидкість прокатування в четвертій прокатній кліті дорівнює:

$$v_{cp4} = \frac{5,5}{1,18} = 4,64 \text{ м/с.}$$

Швидкість прокатування в третій прокатній кліті дорівнює:

$$v_{cp3} = \frac{4,64}{1,18} = 3,93 \text{ м/с.}$$

Швидкість прокатування в другій прокатній кліті дорівнює:

$$v_{cp2} = \frac{3,93}{1,18} = 3,33 \text{ м/с.}$$

Швидкість прокатування в першій прокатній кліті дорівнює:

$$v_{cp1} = \frac{3,33}{1,18} = 2,82 \text{ м/с.}$$

Результати розрахунку заносимо в таблицю 2.2.

Фактична швидкість руху металу між прокатними клітками при обробці відрізняється від середньої швидкості. Вона розраховується з врахуванням коефіцієнту випередження. На коефіцієнт випередження має вплив тип оправки.

Фактична швидкість металу визначається за формулою;

$$v_m = kv_{cp} = k\omega_e(D_i - \lambda d_k), \quad (2.18)$$

де k – коефіцієнт випередження, що враховує вплив форми оправки.

У тому випадку, коли здійснюється прокатування труби на безперервному трубoproкатному агрегаті з використанням довгої оправки, коефіцієнт випередження приймає значення 1,02...1,07. У тому випадку, коли використовується коротка оправка, коефіцієнт випередження приймає значення 0,95...1,02. У випадку прокатування без оправки коефіцієнт випередження дорівнює 1.

Для прокатування на безперервному прокатному стану безшовної труби приймаємо коефіцієнт витяжки рівним $k = 1,04$.

Тоді швидкість металу в останньому чистовому (дев'ятому) калібрі буде дорівнювати:

$$v_{m9} = 10,6 \cdot 1,04 = 11,024 \text{ м/с.}$$

					КНУ.РБ.136.26.114с-04.02.РОТППСТ	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		2.18

Швидкість металу в восьмому калібрі буде рівною з врахуванням коефіцієнту витяжки:

$$v_{,м8} = 8,998 \cdot 1,04 = 9,36 \text{ м/с.}$$

Швидкість металу в сьомому калібрі буде рівною:

$$v_{,м7} = 7,6 \cdot 1,04 = 7,9 \text{ м/с.}$$

Швидкість металу в шостому калібрі буде рівною:

$$v_{,м6} = 6,46 \cdot 1,04 = 6,72 \text{ м/с.}$$

Швидкість металу в п'ятому калібрі буде рівною:

$$v_{,м5} = 5,5 \cdot 1,04 = 5,72 \text{ м/с.}$$

Швидкість металу в четвертому калібрі буде рівною:

$$v_{,м4} = 4,64 \cdot 1,04 = 4,8 \text{ м/с.}$$

Швидкість металу в третьому калібрі буде рівною:

$$v_{,м3} = 3,93 \cdot 1,04 = 4,09 \text{ м/с.}$$

Швидкість металу в другому калібрі буде рівною:

$$v_{,м2} = 3,33 \cdot 1,04 = 3,46 \text{ м/с.}$$

Швидкість металу в першому калібрі буде рівною:

$$v_{,м1} = 2,82 \cdot 1,04 = 2,93 \text{ м/с.}$$

Отримані дані за кожним проходом заносимо в таблицю 2.2.

З таблиці видно, що при прокатуванні труби на безперервному трубопрокатному стані площа поперечного перерізу труби зменшується, при цьому довжина її збільшується, швидкість металу збільшується, внутрішній діаметр, майже, не змінюється при проході від кліті до кліті.

					КНУ.РБ.136.26.114с-04.02.РОТППІСТ	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		2.19

Таблиця 2.2 – Результати розрахунку коефіцієнтів та параметрів прокатування на безперервному трубопрокатному стані

№ проходу	λ	F , мм ²	d_3 , мм	$d_{\text{вн}}$, мм	L , мм	$v_{\text{ср}}$, м/с	v_m , м/с
Гільза	-	2452,0	60,0	38,0	6,9	-	-
1	1,18	1933,18	60,0	39,0	8,142	2,82	2,93
2	1,18	1757,4	57,1	40,0	9,6	3,33	3,46
3	1,18	1489,35	55,7	40,0	11,34	3,93	4,09
4	1,18	1262,16	54,3	40,0	13,38	4,64	4,8
5	1,18	1069,63	52,98	40,0	15,78	5,5	5,72
6	1,18	906,47	51,69	40,0	19,8	6,46	6,72
7	1,18	768,2	50,43	40,0	21,98	7,6	7,9
8	1,18	651,0	49,2	40,0	25,94	9,0	9,36
9	1,178	552,64	48,0	40,0	30,6	10,6	11,024

2.6 Енергосилові параметри прокатування безшовних труб на безперервному трубопрокатному стані

Прокатування труб здійснюється в дуже нерівномірних умовах деформування за шириною калібру, які залежать від форми поперечного перерізу калібру.

Під час прокатування у осередку деформації здійснюється стиснення в діаметрі труби та за її стінкою. В результаті цього стінка потоншується та зменшується зовнішній діаметр труби.

Ці явища утворюють різний напружений стан в поперечному перерізі калібру. У вершини калібру створюється нерівномірне стиснення, а у зоні випуску калібру уварюється знакозмінне напруження, де присутні як напруження стиснення, так і розтягнення.

Такі явища впливають на витрату зусиль на прокатування труби.

					КНУ.РБ.136.26.114с-04.02.РОТППСТ	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		2.20

Середній тиск металу на валки, що утворюється при прокатуванні можна визначити за формулою:

$$p_{\text{ср}} = \frac{2t\beta\sigma_T}{\left[1 + \left(\frac{2f}{\text{tg}\alpha_3}\right)\right] \cdot (d_r + d_T)}, \quad (2.19)$$

де t – товщина стінки труби:

σ_T – границя течії металу, що визначається маркою оброблюваного матеріалу, приймаємо $\sigma_T = 390$ МПа;

α_3 – кут захоплення металу прокатними валками, для безперервного трубопрокатного стану дорівнює $\alpha_3 = 17^\circ$, $\text{tg } 17^\circ = 0,3$

f – питома сила тертя при прокатування, яка дорівнює $f = 0,1$

β – коефіцієнт впливу схеми напруженого стану, залежить від відношення ширини калібру до довжини осередку деформації:

- у випадки $b/l_\alpha < 1$, коефіцієнт впливу напруженого стану дорівнює $\beta = 1$;
- у випадку $b/l_\alpha > 5$, $\beta = 1,5$;
- у випадку $5 > b/l_\alpha > 1$, $\beta = 1,15$;

d_r – діаметр гільзи, що надходить до безперервного трубопрокатного стану;

d_T – діаметр готової труби.

Границя течії металу при прокатуванні визначається за формулою:

$$\sigma_T = \sigma_{\text{ТС}} n_\nu n_H, \quad (2.20)$$

де $\sigma_{\text{ТС}}$ – початкова границя течії металу;

n_ν – коефіцієнт, що залежить від схеми напруженого стану;

n_H – коефіцієнт зміцнення металу при прокатуванні.

Коефіцієнт, що залежить від схеми напруженого стану можна визначити за формулою:

$$n_\sigma = \frac{s}{d_m} \cdot \left[1 + \left(\frac{d_k}{d_m}\right)\right]. \quad (2.21)$$

					КНУ.РБ.136.26.114с-04.02.РОТППІСТ	Аркуш
						2.21
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

При прокатуванні труби на оправці середній контактний тиск визначається за формулою:

$$p_{cp} = 1,15\sigma_T[1 + 2fl_o/(t_T + t_K)], \quad (2.22)$$

де t_T та t_K – товщина гільзи, що надходить до безперервного трубопрокатного стану та кінцева товщина труби відповідно.

Після підстановки відповідних значень, отримаємо:

$$p_{cp} = 1,15 \cdot 390 \cdot [1 + 2 \cdot 0,1 \cdot 0,03/(0,0038 + 0,004)] = 482,6 \text{ МПа.}$$

Площа поверхні дотику оброблюваного матеріалу з прокатним валком при прокатуванні труби визначається за формулою:

$$F_r = kb_{cp}l_\alpha = k\pi r_k l_d, \quad (2.23)$$

де k – коефіцієнт форми, де враховується форма калібру, приймає значення $k = 0,5 \dots 1,2$. В розрахунках приймаємо: $k = 1,0$.

b_{cp} – середня ширина осередку деформації, дорівнює діаметру труби.

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

Тоді, площа горизонтальної проєкції дорівнює:

$$F_r = 1 \cdot 3,14 \cdot 48 \cdot 39 = 5878 \text{ мм} = 5,9 \text{ м.}$$

Повний тиск металу на прокатні валки визначимо за формулою:

$$P = p_{cp}F_r. \quad (2.24)$$

Після підстановки відповідних значень, отримаємо:

$$P = 482,6 \cdot 5,2 = 2847 \text{ Н.}$$

Таким чином, отримали силу прокатування 2847 Н.

					КНУ.РБ.136.26.114с-04.02.РОТППСТ	Аркуш
						2.22
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

В результаті виконаних досліджень було розроблено технологію виготовлення сталевих труби, що має діаметр умовного проходу 40 мм.

Проаналізовано призначення такої труби та визначено матеріал для її виготовлення, де перевагу надано низьковуглецевій сталі марки Сталь 20. Проаналізовано її хімічний склад та властивості.

Досліджено способи виготовлення безшовних труб та обладнання для отримання таких виробів, де перевагу надано трубопрокатному агрегату з безперервним прокатним станом через його високу продуктивність.

Визначено послідовність технологічних операцій, що забезпечують отримання якісної труби для газопроводів потрібних розмірів.

Визначено початковий матеріал для виготовлення труби, що має діаметр умовного проходу 40 мм, де перевагу надано безперервно-литій заготовці круглого поперечного перерізу, яка має зовнішній діаметр 60 мм.

Досліджено способи прошивання отвору в суцільній заготовці, де перевагу надано прошивання на прокатному стані косою прокатування дисковими прокатними валками. Розраховано параметри прокатування на прошивному стані.

Розраховано параметри та коефіцієнти деформації при гарячому прокатуванні труби на безперервному трубопрокатному агрегаті, визначено форму калібрів для отримання вірного профілю, де перевагу надано круглому профілю. Досліджено кінематику прокатування та швидкість руху металу.

З'ясовано, що вірний профіль можна отримати за дев'ять проходів на безперервному трубопрокатному стані. Розраховано розміри розкатів, що отримують в кожному калібрі, що дозволять отримати точний профіль при мінімальних витратах зусиль прокатування.

					КНУ.РБ.136.26.114с-04.В				
Вим.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата	ВИСНОВКИ	Літ.	Аркуш	Аркушів	
Розробив	Коростельов								
Перевірив	Чубенко						1	1	
Рецензент						Кафедра МЧМЛВ			
Н. контр.	Чубенко					гр. ЗМТ-22-1			
Затвердив	Бабошко								

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Чубенко В.А., Хіноцька А.А. Технологія прокатного виробництва: навчальний посібник. Кривий Ріг: Видавець ФОП Чернявський Д.О., 2017. 170 с.
2. Василев Я.Д., Мінаєв О.А. Теорія поздовжньої прокатки: підручник. Донецьк: УНІТЕХ, 2009. 488 с.
3. ВД «Академперіодика» НАН України. Приклади оформлення використаних джерел відповідно до Національного стандарту України ДСТУ 8302:2015. Бібліографічне посилання. Загальні положення та правила складання. Київ, 2016. 16 с. (Інформація та документація).
4. ДСТУ 8302:2015. Інформація та документація. Бібліографічне посилання. Загальні положення та правила складання. Чинний від 2016-07-01. Вид. офіц. Київ: УкрНДНЦ, 2016. 16 с.
5. ДСТУ 3008:2015. Інформація та документація. Звіти у сфері науки і техніки. Структура та правила оформлювання. Київ: УкрНДНЦ, 2016. 31 с.
6. Бережний М.М., Чубенко В.А. Основи проектування технологічних ліній та комплексів металургійних цехів: монографія. Кривий Ріг: Видавничий дім, 2010. 444 с.
7. Данченко В.М., Гринкевич В.О., Головка О.М. Теорія процесів обробки металів тиском: підручник. Дніпропетровськ: Пороги, 2008. 370 с.
8. Чубенко В.А., Хіноцька А.А. Дослідження об'ємноструктурних і енергетичних перетворень в сталях при прокатуванні: монографія. Кривий Ріг: Видавництво ФОП Чернявський Д.О., 2018. 178 с.
9. Бережний М.М., Чубенко В.А., Хіноцька А.А., Глінкин А.В. Час перебування металу в осередку деформації та утворення нової поверхні. *Вісник КНУ*: зб. наук. праць. Кривий Ріг, 2012. Вип. 30. С. 171–174.

					КНУ.РБ.136.26.114с-04.Л			
Вим.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата	ЛІТЕРАТУРА	Літ.	Аркуш	Аркушів
Розробив	Коростельов						1	2
Перевірив	Чубенко							
Рецензент								
Н. контр.	Чубенко							
Затвердив	бабошко				Кафедра МЧМЛВ гр. ЗМТ-22-1			

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

11. ДСТУ 8933:2019. Труби сталеві безшовні для нафтопереробної та нафтохімічної промисловості. Чинний від 2021-01-01. Київ: УкрНДНЦ, 2020. 20 с.

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

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

14. Кропівний В.М., Кропівна А.В., Молокост Л.А., Босий М.В., Кузик О.В. Технологія основних виробництв: навчальний посібник. Кропивницький: Видавництво ТОВ КОД, 2021. 196 с.

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

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

17. Мала гірнича енциклопедія: у 3 т./ за ред. В.С. Білецького. Донецьк: Східний видавничий дім, 2013. Т. 3: С-Я. 644 с.

18. Пилипенко С.В., Міщенко О.В. До питання холодної прокатки труб з підвищеними вимогами до точності геометричних розмірів. *Международный научный журнал Acta Universitatis Pontica Euxinus* Спеціальний випуск, 2014. С. 125-129.

19. Міщенко О.В., Пилипенко С.В., Григоренко В.У. Дослідження зміни різностінності при прокатці тонкостінних труб на станах ХПТР. *Системні технології*. Дніпропетровськ. НМетАУ, 2010. № 5(70). С. 37-46.

					КНУ.РБ.136.26.114с-04.Л	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		2