

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
Національний університет «Запорізька політехніка»

Машинобудівний  
(повне найменування інституту, факультету)  
Кафедра Обробки металів тиском  
(повне найменування кафедри)

**Пояснювальна записка**

до дипломного проєкту (роботи)

Маїстр  
(ступінь вищої освіти)

на тему Дослідження особливостей технологічного процесу виготовлення криволінійної ділянки трубопроводу

Виконав: студент(ка) VI курсу, групи M-819

Спеціальності 131 Прикладна механіка  
(код і найменування спеціальності)

Освітня програма (спеціалізація)

Обладк. та техн. част. формул. констр. машин.

Виковеч О. В.  
(прізвище та ініціали)

Керівник Ленюк Т. Т.  
(прізвище та ініціали)

Рецензент \_\_\_\_\_  
(прізвище та ініціали)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
**Національний університет «Запорізька політехніка»**  
 (повне найменування закладу вищої освіти)

Інститут, факультет Машинобудування  
 Кафедра Обробки металів тиском  
 Ступінь вищої освіти Маїстр  
 Спеціальність 131 Прикладна металіка  
(код і найменування)  
 Освітня програма (спеціалізація) Облад та техол. пластичної формивання конструкцій машинобудування  
(назва освітньої програми (спеціалізації))

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри \_\_\_\_\_

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_\_ року

**З А В Д А Н Н Я**  
**НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТА(КИ)**

Виновець Олександр Віталійович  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проєкту (роботи) Дослідження особливостей технологічного процесу виготовлення криволінійної ділянки трубопроводу

керівник проєкту (роботи) Ленок А. А.  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закладу вищої освіти від «06» листопада 2020 року № 319

2. Строк подання студентом проєкту (роботи) 14.12.2020

3. Вихідні дані до проєкту (роботи) звіт з майстерського станування, труби заготовки, складальні малярні, куансон, гідравлічний прес - ПД-100 А.

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

- 1 Літературний огляд існуючих технологічних процесів виготовлення криволінійної ділянки трубопроводу - відводу
- 2 Методика проведення дослідження
- 3 Дослідна частина
- 4 Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

Презентаційний матеріал

6. Консультанти розділів проєкту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	приймав виконане завдання
1	Ленюк А. А. ст. вимп.	<i>Ленюк</i>	<i>Ленюк</i>
2	Ленюк А. А. ст. вимп.	<i>Ленюк</i>	<i>Ленюк</i>
3	Ленюк А. А. ст. вимп.	<i>Ленюк</i>	<i>Ленюк</i>
4	Нестерів О. В. доцент. к. т. н.		

7. Дата видачі завдання « 05 » травня 2020 року.

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Літературний огляд існуючих технологій проєктів виготовлення криволинійної філанки трубопроводу - відводу.	01.09.20-23.09.20	
2	Методика проведення дослідження	24.09.20-20.10.20	
3	Дослідна частина	21.10.20-18.11.20	
4	Охарактеристиці та безпеки у надзвичайних ситуаціях	19.11.20-05.12.20	

Студент(ка)

*Винюк О. В.*  
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник проєкту (роботи)

*Ленюк А. А.*  
(підпис) (прізвище та ініціали)

## РЕФЕРАТ

ПЗ: 113 с., 51 рис., 19 табл., 56 джерела.

Об'єкт дослідження – криволінійна ділянка трубопроводу – крутовигнутий відвод.

Мета дослідження – дослідження особливостей технологічного процесу виготовлення криволінійної ділянки трубопроводу.

У роботі експериментально досліджується технологія виготовлення крутовигнутого відводу способом проштовхування через отвір складальної матриці з криволінійною віссю без наповнювачів.

Дослідження являє собою розвиток технологічного процесу з мінімальними енергетичними витратами. Розглянуто особливості Ст 3 та сталі Х12М. Було досконально розглянуте обладнання на якому проводились дослідження. Також було продемонстровано процес виготовлення крутовигнутого відводу.

На базі лабораторії кафедри «Обробки металів тиском» отримано декілька зразків – неякісних готових виробів та виявлено наявність дефектів та проблем, які можуть виникати в процесі формоутворення крутовигнутих відводів.

Розроблені заходи по безпеці життєдіяльності, які повинні дотримуватися при проведенні експерименту. Проаналізовано результати дослідження. Зроблені висновки.

КРУТОВИГНУТИЙ ВІДВОД, ТРУБНА ЗАГОТОВКА, ГНУТТЯ, ПРОШТОВХУВАННЯ, ГІДРАВЛІЧНИЙ ПРЕС, ДЕФОРМУВАННЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ТЕХНОЛОГІЇ, ДЕФЕКТИ.

## ABSTRACT

EN: 113 p., 51 fig., 19 tabl., 56 sources.

The object of study is a curved section of the pipeline - a curved branch.

The purpose of the study is to study the features of the technological process of manufacturing a curved section of the pipeline.

In this work we experimentally investigate the technology of manufacturing a curved branch by pushing through the hole of the assembly matrix with a curved axis without fillers.

The study is a development of the technological process with minimal energy costs. Features of Steel 3 and D2 steel are considered. The equipment on which the research was conducted was thoroughly examined. The process of making a curved branch was also demonstrated.

On the basis of the laboratory of the department "Metal processing by pressure" several samples were obtained - low-quality finished products and the presence of defects and problems that may occur in the process of forming torsional bends.

Developed safety measures that must be followed during the experiment. The results of the study are analyzed. Conclusions are made.

STRAIGHT BRANCH, PIPE PREPARATION, BENDING, PUNCHING, HYDRAULIC PRESS, DEFORMATION, RESEARCH, TECHNOLOGIES, DEFECTS.

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
РОЗДІЛ 1.....	9
ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ВИГОТОВЛЕННЯ КРИВОЛІНІЙНОЇ ДІЛЯНКИ ТРУБОПРОВОДУ – ВІДВОДУ.....	9
1.1 Основні характеристики крутовигнутих відводів.....	9
1.2 Технології виготовлення відводів у гарячому стані.....	15
1.2.1 Технологія виготовлення крутовигнутого відводу способом гарячого протягування по спеціальній вставці.....	17
1.2.2 Технологія гнуття з локальним нагріванням струмом високої частоти.....	22
1.2.3 Технологія штампування труб.....	30
1.2.4 Технологія штампування з листа.....	38
1.3 Технології виготовлення відводів у холодному стані.....	40
1.3.1 Технологія гнуття труб за допомогою гідравлічного трубогнуттєвого верстата.....	42
1.3.2 Технологія обкатуванням роликком.....	43
1.3.3 Технологія виготовлення з внутрішнім оправленням.....	44
1.3.4 Технологія намотуванням с дорном.....	47
1.3.5 Технологія виготовлення на двох відокремлених опорах.....	49
1.3.6 Технологія холодного пластичного деформування.....	51
1.3.7 Технологія прошовхування через філь'єру з криволінійною віссю.....	53
1.4 Висновки.....	56
РОЗДІЛ 2.....	58
МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	58
2.1 Матеріали.....	58
2.1.1 Сталь 3.....	58

2.1.2 Сталь Х12М.....	60
2.2 Обладнання.....	61
2.2.1 Прес гідравлічний ПГ-100А.....	61
2.2.2 Прес гідравлічний П481А.....	63
2.2.3 Верстат для різання труби С-246А.....	64
2.2.4 Твердомір ТК-2М.....	66
2.2.5 Токарний верстат А62.....	68
2.2.6 Муфельна електрична піч типу МП-2М.....	70
2.3 Висновки.....	73
РОЗДІЛ 3.....	74
ДОСЛІДНА ЧАСТИНА.....	74
3.1 Планування дослідження.....	74
3.1.1 Аналіз факторного плану типу $2^k$ .....	75
3.1.2 План типу $2^k$ .....	76
3.2 Дослідження технології виготовлення крутовигнутого відводу.....	82
3.3 Експериментальне дослідження.....	85
3.4 Результати дослідження.....	90
3.5 Висновки.....	93
РОЗДІЛ 4.....	95
ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....	95
4.1 Аналіз потенційних небезпек.....	95
4.2 Заходи забезпечення безпеки.....	96
4.3 Заходи забезпечення виробничої санітарії та гігієни праці.....	102
4.4 Заходи забезпечення безпеки у разі виникнення надзвичайних ситуації..	106
4.4.1 Заходи з пожежної безпеки.....	106
4.4.2 Організація управління персоналом під час надзвичайної ситуації.....	107
4.5 Висновки.....	109
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	110

## ВСТУП

Крутовигнутий відвод – сполучна деталь трубопроводу у вигляді вигнутого сегмента труби. Призначення крутовигнутого відвода – змінювати напрямок трубопроводу.

Матеріалом для виробництва крутовигнутих відводів можуть служити: чавун, конструкційна, легована, нержавіюча та ін. сталі, пластмаса, полімери. Крутовигнутий відвод використовують при будівництві технологічних, магістральних, комунально-мережевих трубопровідних систем.

Гнуті відводи для сталевих трубопроводів виробляються холодним і гарячим гнуттям. У якості заготовок беруть безшовні, електрозварні патрубки – трубні заготовки. Товщина їх стінок може бути стандартною або посиленою. Весь процес відбувається на трубоविгинаючих верстатах.

Холодний спосіб гнуття заготовки відбувається без нагрівання. Це дає можливість виготовляти крутовигнуті відводи з великим радіусом гнуття, але звужує кут максимум до  $27^\circ$ . Така арматура регламентується державними стандартами (ГОСТ).

При гарячому способі гнуття всю заготовку або тільки деформуючу частину нагрівають струмом високої частоти. Радіус гнуття таких відводів становить 1,5-6 Ду. Їх виготовляють згідно з технічними умовами.

Холодна та гаряча технологія гнуття створює овальність, зменшує стіночну товщину відвода. Щоб позбутися дефекту овальності, в порожнину деформованої труби засипають крупнозернистий пісок.

# 1 ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ВИГОТОВЛЕННЯ КРИВОЛІНІЙНОЇ ДІЛЯНКИ ТРУБОПРОВОДУ – ВІДВОДУ

## 1.1 Основні характеристики крутовигнутих відводів

Одна з криволінійних ділянок трубопроводу – відвід.

Відвід - трубна арматура трубопроводу, встановлюють для зміни напрямку трубопроводу в процесі монтажу [1].

Крутовигнуті відводи – це частина трубопровідної мережі, яка з'єднує трубопроводи однакового діаметру при зміні напрямку прокладання трубопровідної мережі [2]. Найпопулярнішими в цьому застосуванні є відводи, виготовлені згідно з ГОСТ 17375 та ГОСТ 30753, з кутом повороту 90 та радіусом вигину 1D типу 2D та 1,5D типу 3D. Відвод використовується для зміни напрямку монтажу трубопровідної системи, кут повороту становить 90°, 60°, 45° та 180° [2].

Крутовигнутий відвод виготовляють з низьколегованої та вуглецевої сталі. Для виготовлення відводів використовують різні марки сталі [2].

Марка сталі: Ст.3, 10, 20, 09Г2С, 17Г1С, 08Х18Н10Т, 12Х18Н10Т.

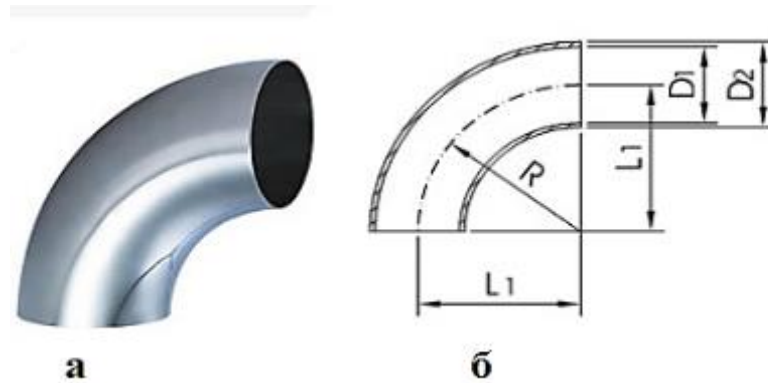
Номинальний тиск:  $P_y$  до 16 МПа (160 кгс / см<sup>2</sup>).

Робоча температура: від -70 до +450 С.

Система трубопроводів використовує відводи, виготовлені з різних марок сталі, щоб задовольнити технічні вимоги до транспортування трубопроводів у конкретних робочих умовах. Крутовигнутий відвод з нержавіючої сталі та легованої сталі дозволяє встановлювати та тривалий час експлуатувати трубопроводи з високими вимогами до зносостійкості. На вигляд сталевий відвод - це частина труби, яка вигнута під певним кутом, а діаметр входу і виходу деталі залишається незмінним і відповідає діаметру труби. При монтажі сталевих відводів з трубами, застосовується метод зварювання для забезпечення міцності конструкції [2].

Радіус вигину, конструкція та розмір відводу виготовляються залежно від ГОСТу [2]:

- ГОСТ 17375 - це сталевий відвод із тривимірним перетином ( $R \sim 1,5 \text{ DN}$ ).
- 2D секційний сталевий ( $R \sim \text{DN}$ ) відвод ГОСТ 30753.



а) загальний вигляд; б) основні характеристики

Рисунок 1.1 – Відвод трубопроводу

Сталевий 3D типу відвод ГОСТ 17375 ( $R = 1,5 \text{ DN}$ ):

- DN 15 - 1000 мм; D 21,3 - 1016 мм
- DN 25 - 800 мм; D 32 - 820 мм.

Основні особливості крутовигнутих відводів включають:

1) Радіус гнуття  $R_{зг}$  визначається віссю трубопроводу, як показано на рисунку 1.1 [3,4].

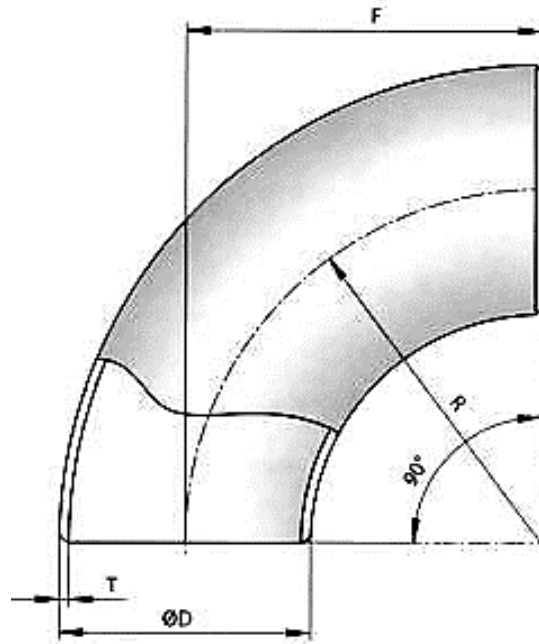


Рисунок 1.2 – Радіус гнуття крутовигнутого відводу

Існує три види радіусів при розрахунку основних характеристик крутовигнутого відводу .

До них відносять:

- проєкт радіуса;
- радіус інструменту;
- радіус гнуття [5,6].

2) Довжина  $L$  – характеристика крутовигнутого відводу, рисунок 1.3.

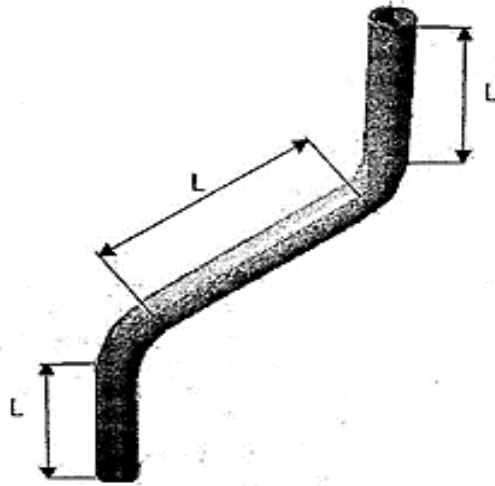


Рисунок 1.3 – Довжина прямолінійної ділянки крутовигнутого відводу

3) На рисунку 1.4 показано кут повороту  $R$  між площинами. Кут повороту визначається двома вигинами [7].

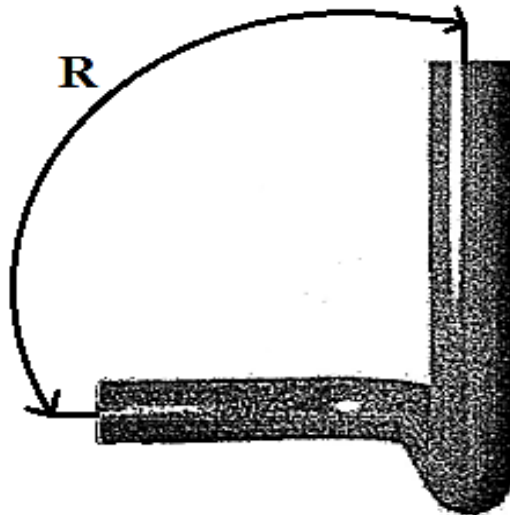


Рисунок 1.4 – Кут повороту крутовигнутого відводу

4) Кут  $A$  – кут гнуття, який знаходиться між прямолінійними відрізками [3], рисунок 1.5

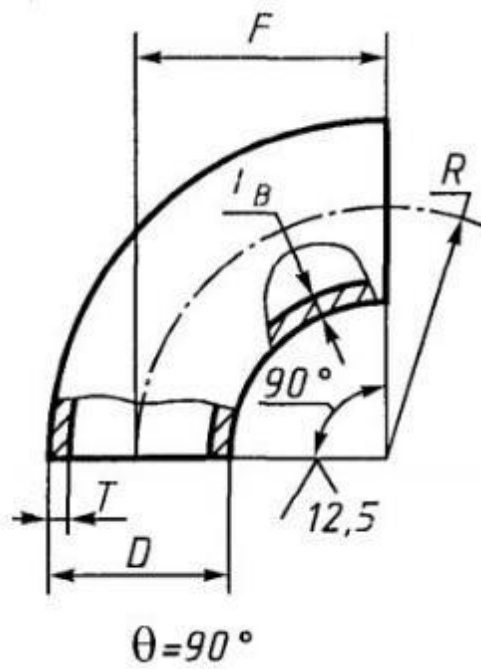


Рисунок 1.5 – Кут гнуття крутовигнутого відводу

Розміри крутовигнутих відводів наведені у таблиці 1.1 згідно з ГОСТ 17375-2001.

Таблиця 1.1 – Розміри крутовигнутих відводів. Згідно з ГОСТ 17375-2001 [8].

D <sub>N</sub>	D	T	F=R	H	C	B	Маса відвода, кг		
							45°	90°	180°
15	21,3	2,0	28	14	56	38	0,02	0,04	0,08
		3,2					0,03	0,06	0,12
		4,0					0,04	0,07	0,14
32	42,4	2,6	48	23	96	29	0,10	0,19	0,39
		3,6					0,13	0,26	0,52
		5,0					0,17	0,35	0,60

Продовження таблиці 1.1

50	60,3	2,9	76	35	152	106	0,25	0,5	0,99
		4,0					0,33	0,67	1,3
		5,6					0,5	0,89	1,8
80	88,9	3,2	114	51	228	159	0,60	1,20	2,40
		5,6					1,00	2,10	4,10
		8,0					1,40	2,80	5,70
150	168,3	4,5	229	95	457	313	3,20	6,50	13,00
		7,1					5,10	10,00	20,00
		11,0					7,70	15,00	31,00
300	323,9	7,1	457	190	914	619	20,00	40,00	80,00
		10,0					28,00	56,00	111,0
600	610,0	12,5	914	381	1828	1219	133,0	266,0	531,0

## 1.2 Технології виготовлення відводів у гарячому стані

Гнуття труб з нагрівом струмом високої частоти може вироблятися на верстатах як з натискним роликом, так і з водилом, що вигинає [10]. При згинанні особлива увага має бути звернена на контроль температури нагрівання яка має бути не нижча 900°C. Контроль температури ведеться за допомогою оптичного пірометра. Рекомендовані режими гнуття найчастіше вживаних труб з нержавіючої сталі наведені в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 Витрати енергії на нагрівання труб [11].

Трубы $D_H \times S$ в мм	Расходуемая мощность* в кВт	Продольная подача в мм/сек	Температура нагрева в °С
89×4,5	30—40	1,8—2	1100—1150
108×5,5	30—40	1,2—1,4	1100—1150
133×6	40—50	1—1,2	1100—1150
159×6	50—60	0,8—1	1100—1150
68×13	70—80	0,8—1	1130—1180
102×17	80—90	0,6—0,8	1130—1180

Для вирівнювання температури нагріву труби по всьому перетину, а також для запобігання труби від прогару рекомендується застосування спеціального індуктора із захистом зони нагрівання від окислення інертним газом азотом, аргоном та ін., рисунок 1.6.

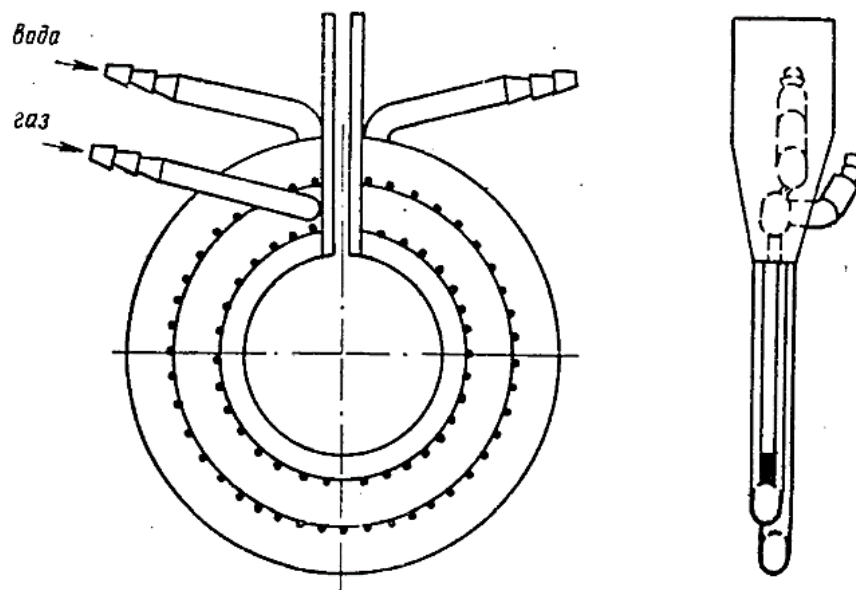


Рисунок 1.6 - Індуктор з підведенням газу в зону нагрівання труби

Оскільки крутовигнуті відводи не мають прямих ділянок, вони виготовляються з набиванням піску у випадку гарячого гнуття. Компенсатори з крутовигнутими відводами мають більшу гнучкість, ніж компенсатори зі звареними відводами, що дозволяє зменшити їх виліт на 15-20% [12].

Заводське виготовлення крутовигнутих відводів в середньому в 3-4 рази економніше виготовлення відводів на Монтажному майданчику, а трудомісткість менше в 10-12 разів. Застосування крутовигнутих відводів значно знижує терміни виготовлення і монтажу трубопроводів [12].

Виготовлення крутовигнутих відводів методом гарячої протяжки через рогообразний сердечник. сутність процесу виготовлення відводів методом протягання полягає в тому що труба заготовка просувається по штанзі преса укріпленого на її кінці рогообразного сердечника, вміщеної в нагрівальній печі.

До технологій виготовлення крутовигнутого відводу у гарячому стані, відносять наступні:

- спосіб гарячого протягування заготовки по спеціальній вставці;
- спосіб гнуття з локальним нагріванням струмом високої частоти;
- спосіб штампування труб;
- спосіб штампування з листа;
- спосіб прошовхування трубної заготовки через криволінійний канал матриці.

### **1.2.1 Технологія виготовлення крутовигнутого відводу способом гарячого протягування по спеціальній вставці**

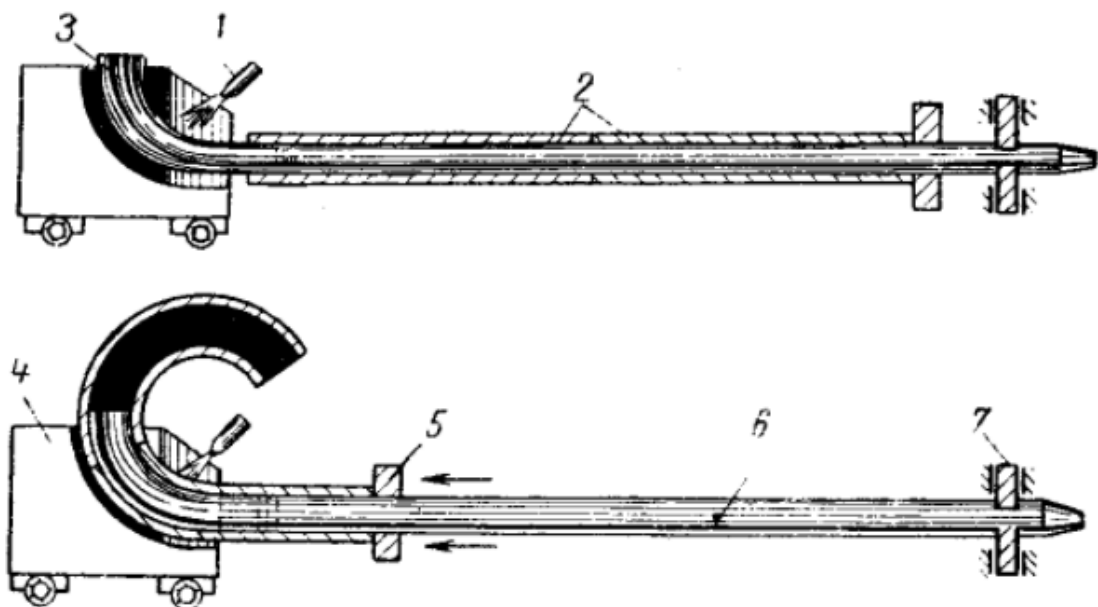
Технологія протягування по спеціальній вставці є дуже продуктивна [13]. За цією технологією можуть виготовлятися крутовигнуті відводи діаметром

проходу  $D_B$  в межах від 80 до 500 мм, радіусом гнуття  $R_{зг}=(1,0...1,5)D_B$  та відносною товщиною стінки  $s/D_B=0,016...0,10$ .

Суттєва особливість цієї технології – можливість отримання готових виробів з однаковою товщиною стінки перерізу незалежно від радіуса гнуття [14].

Суть способу гарячого протягування полягає в тому, що трубна заготовка нагрівається, згинається і збільшується в діаметрі. При виготовленні відводів методом протягування товщина стінки відводу залишається незмінною, рівній товщині стінки труби-заготівки, незалежно від радіуса вигину. Цим методом можна виготовляти відводи з відносно малими радіусами кривизни ( $1 - 1,5D_y$ ), в тому числі і тонкостінні при [14]:

$$\left(\frac{s}{D_H} \geq 0,02\right) \quad (1.1)$$



1 - газовий пальник; 2 – труба-заготівка; 3 – спеціальна вставка;  
4 - прихована нагрівальна піч; 5 - траверса преса; 6 – шток; 7 – замки;

Рисунок 1.7 – Способи протягування по спеціальній вставці

ехнологічний процес виготовлення відводів методом протягання складається з наступних операцій :

а) газополум'яним різанням труб на заготівлі, здійснюваної із застосуванням спеціальних обертів, обладнаних упорами і механізмами обертання і поздовжнього переміщення розрізає труби. довжину заготовки розраховують на отримання з одного калача (відводів  $180^\circ$ ), двох відводів  $90^\circ$  градусів;

б) мастила внутрішній поверхні труб заготовок машинним мастилом з домішкою графіту;

в) протягання заготовок на горизонтальних гідравлічних процесах типу П-102 і СКГ-1 з нагріванням в печах відкритого або закритого типу;

г) газополум'яним різанням калачів на відводи на спеціальних верстатах з одночасним зняттям фаски;

д) правки кінців відводів в холодному стані штампах на гвинтових фрикційних пресах для підвищення точності приєднувальних розмірів за діаметром. У порівнянні з іншими способами виготовлення відводів протяжка менш трудомістким, забезпечує більш економне витрачання металу, електроенергії та допоміжних матеріалів.

На таблиці 1.3 представлена продуктивність протягання на пресі П-102А [11].

Таблиця 1.3 - Продуктивність протягання на пресі П-102А

$D_{у}$ в мм	150	200	250	300	350	400	500	600
Кількість відводів в 1 ч	30	20	16	12	9	7	6	4

Протягування по спеціальній вставці відбувається в 3 зони:

I - трубна заготовка проходить через направляючу частину вставки,

II - потрапляє в вигнуту частину вставки, діаметр збільшується

III - в кінці процесу спостерігається постійний діаметр [15].

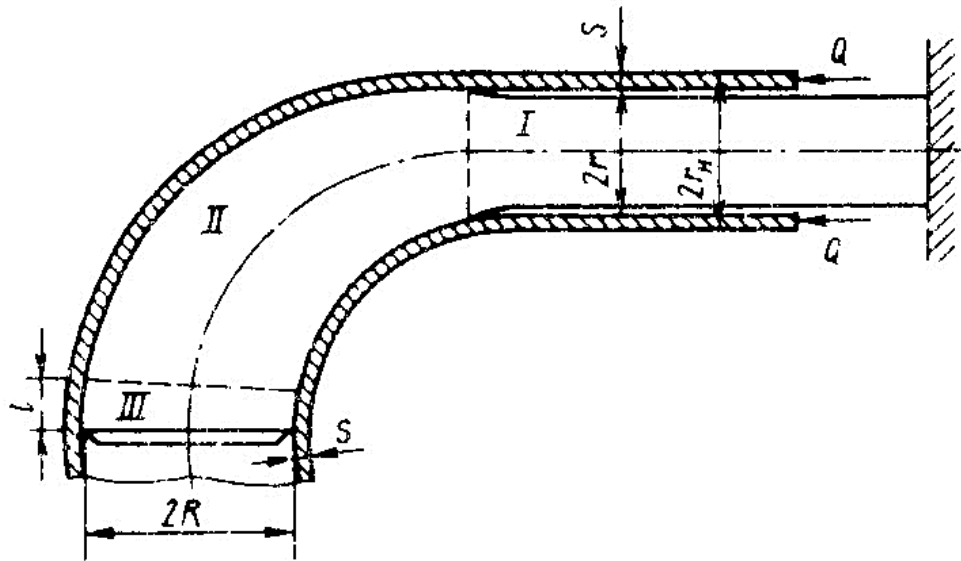


Рисунок 1.8 – Процес протягування по спеціальній вставці

Для виготовлення відводів протягуванням є інструмент, що збільшується по діаметру спеціальної вставки [14]. Вона працює при достатньо високих температурах і тиску.

Основні показники, які впливають на типорозміри спеціальної вставки – діаметр відводу і радіус гнуття, рисунок 1.9.

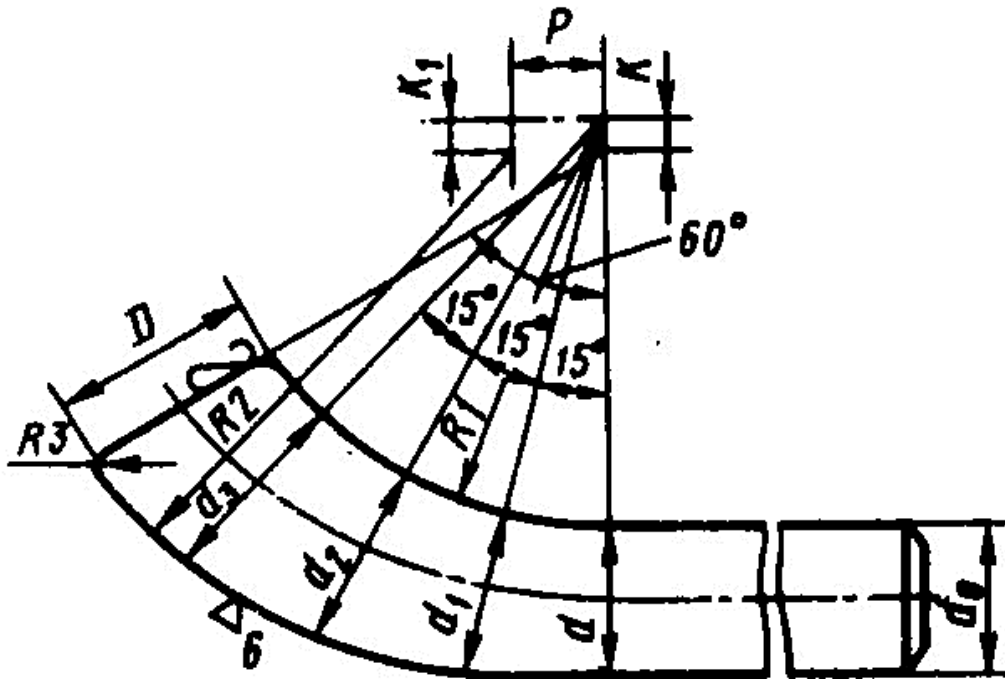


Рисунок 1.9 – Розміри спеціальної вставки для протягування відводів

У таблиці 1.4 наведено основні розміри спеціальної вставки відводів.

Таблиця 1.4 — Розміри спеціальної вставки для відводів з  $R_{зг}=1,5D_y$

Розміри відводів $D_H^X S^X R_r$	Розміри вставок										
	d0	d	d1	d2	d3	D	R1	R2	k	k1	P
133 <sup>X</sup> 5 <sup>X</sup> 190	82	85	95	107	117	122	240	310	19	15	52
159 <sup>X</sup> 6 <sup>X</sup> 225	99	102	114	129	140	147	286,5	373	22,5	16	58
219 <sup>X</sup> 7 <sup>X</sup> 300	142	145	150	180	197	200,5	382	502	30	25	86
273 <sup>X</sup> 9 <sup>X</sup> 375	173	176	197	223	244	255	482	630	39,5	31	110

Обладнання для протягування по спеціальній вставці – горизонтальні гідравлічні преси. Температурний режим має найбільший вплив на характер формозміни трубної заготовки [14].

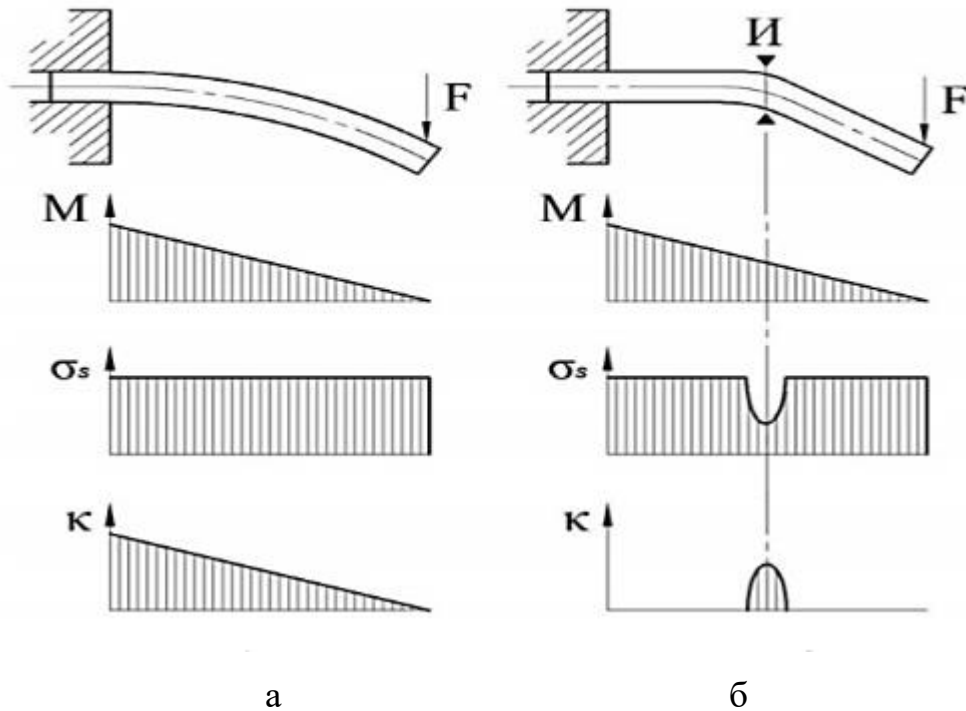
### 1.2.2 Технологія гнуття з локальним нагріванням струмом високої частоти

У загальному випадку технологія гнуття з локальним нагрівом полягає в прошовхуванні труби крізь вузький, одновитковий індуктор, що нагріває матеріал труби струмами високої частоти, і одночасному додатку до труби моменту, що вигинає. При виході з індуктора матеріал труби охолоджується або природним чином (при гнутті товстих труб), або в результаті дії водяного або повітряного охолоджувача (при гнутті тонких труб). В результаті нагрівання виходить лише вузька зона труби, в якій і відбуваються пластичні деформації, на відміну від гнуття в холодному стані або гнуття з нагрівом усєї заготовлі, де пластичні деформації відбуваються практично по усій довжині труби, що згинається. Матеріал іншої (холодною) частини труби знаходиться в пружній зоні, завдяки різниці температур рисунок 1.10 [16].

Найбільш поширеними конструктивними схемами гнуття труб з локальним індукційним нагрівом є:

- гнуття з роликом, що відхиляє;
- гнуття з поворотним важелем.

Розглянемо детальніше ці схеми гнуття, їх сферу застосування, а також силові чинники, що впливають на трубу.



а - із суцільним нагріванням; б - з локальним нагріванням

Рисунок 1.10 – Порівняння способів гнуття

Спосіб гнуття з роликом, що відхиляє, труба (1) прошовується через напрямні ролики, або фільтру (2) і через індуктор (3). Індуктор нагріває на трубі вузька ділянка (4). Одночасно з цим на трубу впливає ролик (5), що відхиляє, який, переміщаючись поступально по траєкторії, перпендикулярній осі труби, згинає її рисунок 1.11 Також існують конструкції верстатів, в яких ролик, що відхиляє, здійснює обертальний рух [17].



витісняється гнуттям з поворотним важелем і застосовується тільки для отримання згинів великого радіуса [17].

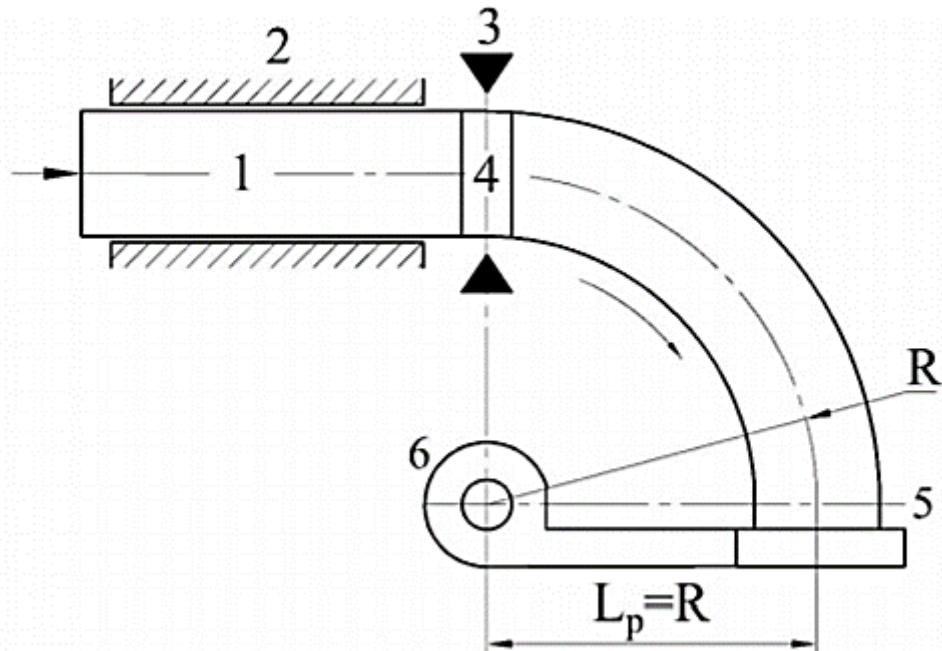


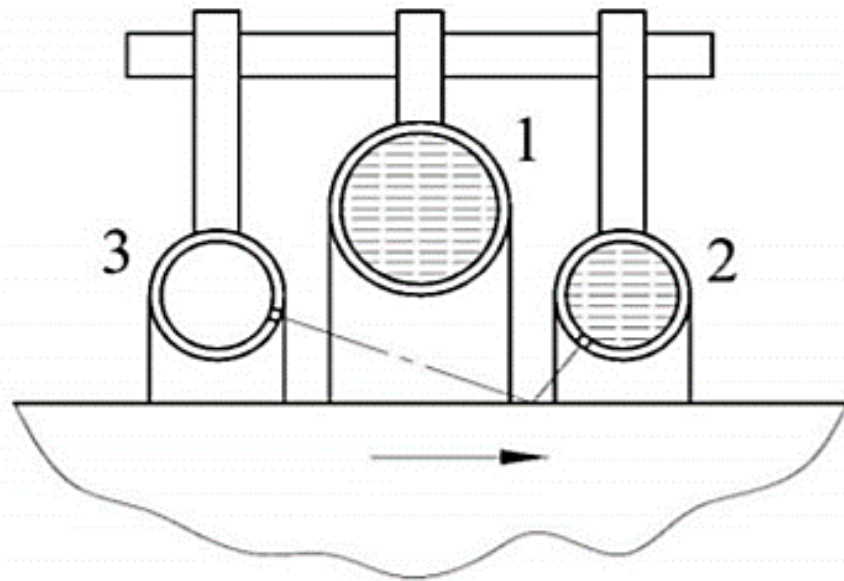
Рисунок 1.12 – Спосіб гнуття з поворотним важелем

При гнутті за способом з поворотним важелем, труба (1) прошовується через ту, що направляє фільтру (2) і через індуктор (3), який знаходиться відразу за фільтром. Індуктор нагріває на трубі вузька ділянка (4). Кінець труби, що згинається, закріплений в затиску (5), пов'язаному з поворотним важелем (6). Труба, під дією подовжньої сили, згинається, обертаючи поворотний важіль, при цьому центр вигину труби співпадає з віссю обертання поворотного важеля. Радіус вигину труби встановлюється переміщенням затиску уздовж осі поворотного важеля і аналогічним переміщенням поворотного важеля в площині, перпендикулярної осі труби. Також необхідно, щоб вісь обертання водила завжди знаходилася в площині індуктора. Плече згину  $L_p$  при цьому способі гнуття дорівнює радіусу вигину труби [17].

Перевагами гнуття з поворотним важелем є можливість отримання згину малого радіуса (до  $1,5D$ ) високої геометричної точності, завдяки малій довжині ділянок змінної кривизни (довжини ділянок змінної кривизни на кожній стороні згину дорівнюють ширині зони нагрівання), а також більш високу якість згинів, завдяки зниженню поперечних навантажень, що виникають при згинанні, в порівнянні з гнуттям відхиляють роликом. При цьому недоліками є обмеженість максимального радіуса згину конструкцією верстата і неможливість виконувати згину змінної кривизни [17].

Гнуття з поворотним важелем нині є основним способом гнуття з локальним індукційним нагріванням. Основою технології гнуття з індукційним нагріванням є створення локальної зони нагріву, параметри якої безпосередньо впливають на якість гнуття. Для здійснення якісної гнуття на малі радіуси необхідно створення зони нагріву шириною, що не перевищує дві товщини стінки труби, що досягається застосуванням індукторів спеціальної конструкції [17]. Основною особливістю індукторів для гнуття з локальним нагріванням є поєднання двох функцій: нагрівання заданої ділянки труби і одночасне охолодження прилеглих ділянок. Це досягається поєднанням індуктора зі спреєра для охолодження труби рисунок 1.13 [17].

Кільце індуктора безпосередньо створює електромагнітне поле, необхідне для індукції струму нагріває труби і має, як правило, вид кільця з порожнистою, водяна охолоджувальна мідна трубка. Основними геометричними параметрами кільця індуктора є ширина і внутрішній зазор між індуктором і нагрівається трубою. Ширина індуктора виконується мінімальною для створення локальної зони нагрівання. При цьому існує оптимальне значення ширини, менше якого не відбувається звуження зони нагрівання, з огляду на розсіювання електромагнітного поля проміжку між індуктором і нагрівається трубою [17]. Внутрішній зазор індуктора повинен бути, з одного боку, як можна менше - для звуження зони нагрівання, так і досить великим для компенсації овальної труби при гнутті і мінливості розмірів труби, а також для можливості здійснення регулювання [17].



Основними елементами індуктора є: 1 - кільце одновиткового індуктора; 2 - водяний спреєр; 3 - кільце повітряного піддування;

Рисунок 1.13 Спосіб роботи індуктора (стрілкою показаний напрям руху труби)

Для обмеження ширини зони нагрівання застосовується струминне водяне охолодження матеріалу труби відразу після проходження індуктора, для чого встановлюється водяний спреєр, що подає воду через отвори діаметром 1,5 мм, кут і розташування отворів для подання води вибирається так, щоб максимально обмежити зону нагрівання і, при цьому, не допустити попадання води в зону дії індуктора. Спреєр може бути виконаний як у вигляді окремого кільця, так і поєднаний з кільцем індуктора. При гнутті тонкостінних труб, як правило, неможливо уникнути затікання води в зону дії індуктора при використанні тільки водяного спреєра, внаслідок необхідності створення дуже вузької зони нагрівання. В цьому випадку, на додаток до водяного спреєру, з протилежного боку від кільця індуктора встановлюється кільце повітряного піддування. Струмені повітря з кільця повітряного

піддування спрямовуються в проміжок між кільцем індуктора і трубою, що нагрівається. Кут подання потоків повітря встановлює попадання струменів повітря знаходилася між зоною дії індуктора і зоною попадання струменів води, що створює повітряну перешкоду для струменів води, відбитих від поверхні труби, і запобігає затіканню води в зону дії індуктора. В результаті процесів послідовного індукційного нагрівання і охолодження формується складний розподіл температури нагріву матеріалу труби, в якому можна виділити окремо розподіл температури поверхні труби і розподіл температури по товщині стінки труби.

Дослідження розподілу температури поверхні труби при використанні водяного охолодження наводяться в [15, 17]. У спрощеному вигляді графік розподілу температури в подовжньому напрямі має вигляд, показаний нижче рисунок 1.14.

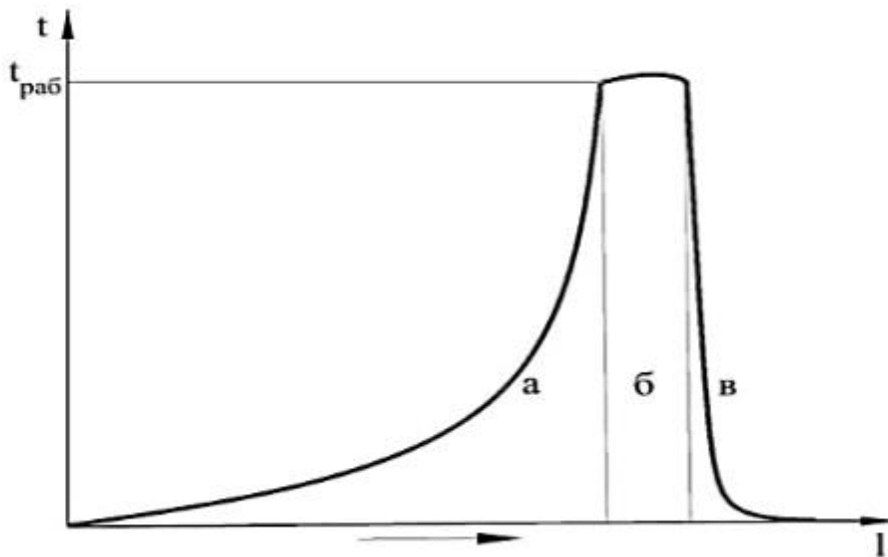


Рисунок 1.14 – Розподіл температури нагріву по довжині труби (стрілкою показано напрямок руху труби)

1. Ділянка а - цій ділянці графіку відповідає розігрівання труби при підході до індуктора. Збільшення температури труби починається на великій відстані від індуктора (до 400 мм) за рахунок явищ теплопровідності, при цьому різке зростання температури починається на відстані, рівному 20 товщині стінки труби. Зростання температури залежить від швидкості подання труби і відбувається настільки різко, що можна вважати зону нагріву різко обмеженою [15, 17].

2. Ділянка б - Цій ділянці графіку відповідає зона дії індуктора, в якій температури нагріву досягає робочого значення и не випробовує значних коливань.

3. Ділянка в - цій ділянці відповідає зона водяного охолодження. Падіння температури на цій ділянці відбувається різким стрибком до деякого, залишкового значення, залежного від інтенсивності охолодження і швидкості подання труби. Далі охолодження труби відбувається на повітрі.

### **1.2.3 Технологія штампування труб**

Штампування є одним з високопродуктивних методів отримання криволінійних ділянок.

Технологія такого способу може забезпечити більшу точність розмірів крутовигнутих відводів радіусів та діаметрів гнуття, що дозволить отримувати відводи з відносно малим радіусом гнуття [16].

На рисунку 1.15 продемонстровано штамп для вільного гнуття труб під кутом  $180^\circ\text{C}$  з радіусом гнуття  $R_{\text{гн}} > 2$ . За допомогою такого штампу отримують готовий виріб за одну технологічну операцію.

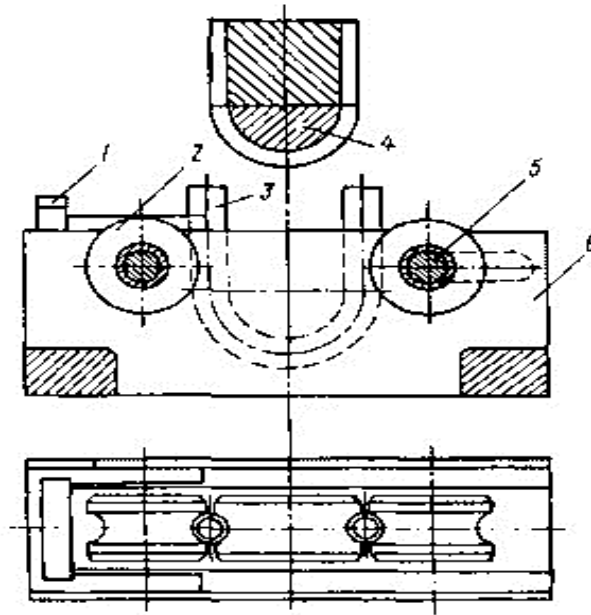
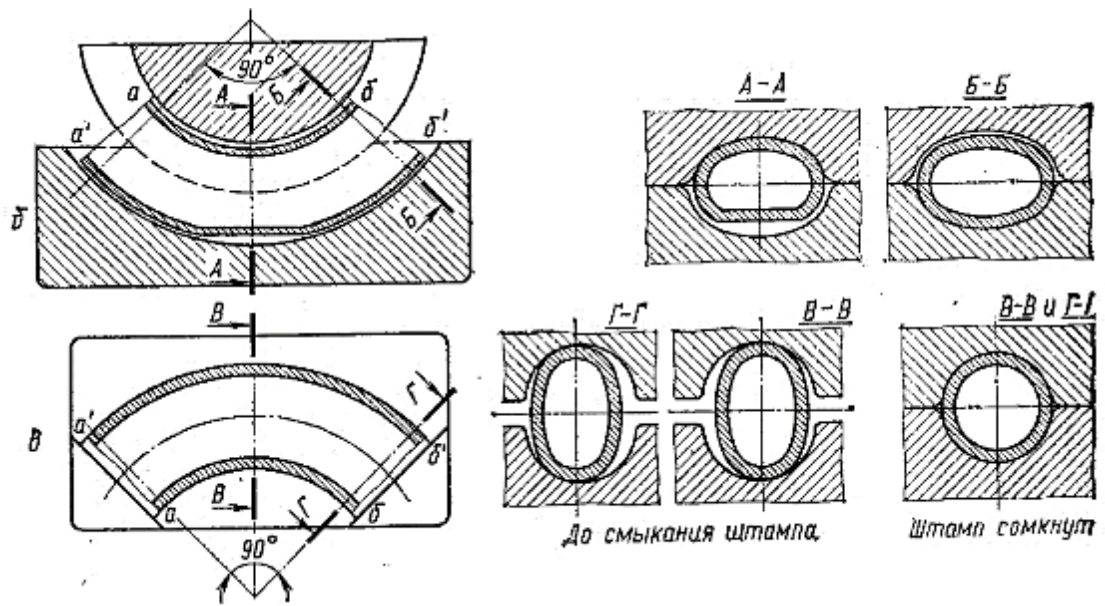


Рисунок 1.15 – Штамп для вільного гнуття відводу

Штамп містить блок-корпус 6, нижній опорний ролик 2, який крутиться на осях 5 та пуансон 4, радіус якого відповідає радіусу кривизни 3 крутовигнутого відводу. Трубна заготовка вводиться на опору 7, а кут згинання регулюється ходом пуансона. Пуансон та опорний ролик мають струмки, які відповідають діаметру заготовки. Крутовигнуті відводи виробляються на гідравлічних, фрикційних або кривошипних пресах. У цьому випадку штампування здійснюється наступним чином: гнуття, подальше об'ємне формування та правка.

Спосіб деформування труби при штампуванні показано на рисунку 1.16.



а - заготовка; б, в – гнуттєвий та формувальний рiвчаки.

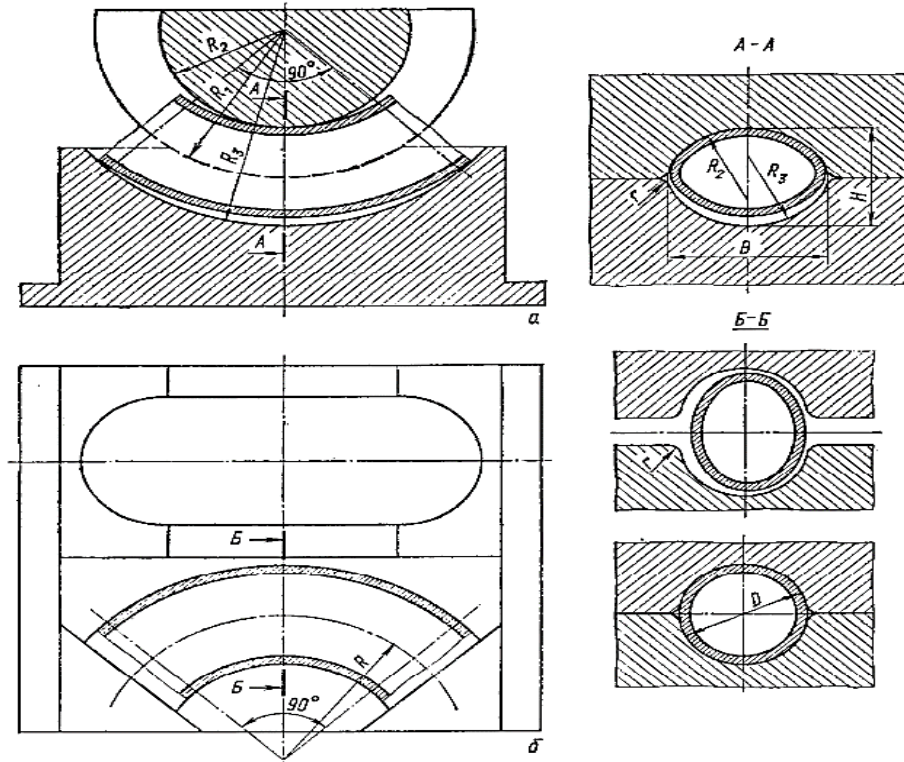
Рисунок 1.16 – Спосiб деформування труби при штампуванні

Чим стiнка тонша, тим бiльше дiаметр трубної заготовки, i тим бiльше кривизна перерiзу пiсля гнуття. Тому для штампування заготовки використовуються чотири методи [18].

На рисунку 1.17 показано штампування без використання пiдкладних торцевих оправок. При  $s/D > 0,17$  i  $R = (1,3...1,6) D$  необхідно використовувати цей параметр; заготовка нагритої трубки штампується дворучним штампуванням для двох операцiй.

На рисунку 1.18 показано штампування з пiдкладними торцевими оправками: застосовують, якщо  $s/D = 0,09...0,17$  i  $R = (1,3...1,6) D$ . Застосування оправок запобiгає сплющуванню торцiв заготовки.

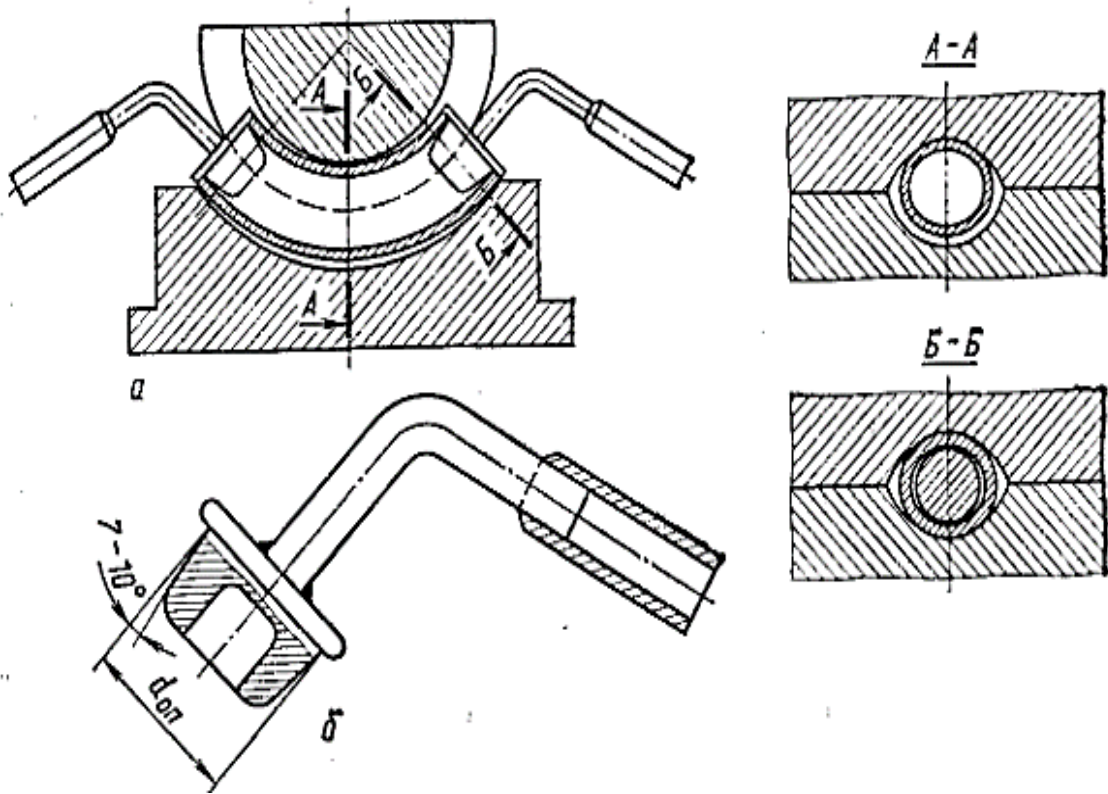
На рисунку 1.19 показано штампування iз внутрiшнiм пуансоном: застосовують, якщо  $s/D = 0,08...0,09$  i  $R = (1,25...1,6) D$ , а також якщо  $s/D = 0,065...0,08$  i  $R = (1,7...1,8) D$ . Цей метод дає змогу запобiгти значному викривленню профiлю трубної заготовки.



а – гнущий рiвчак; б – формувальний рiвчак.

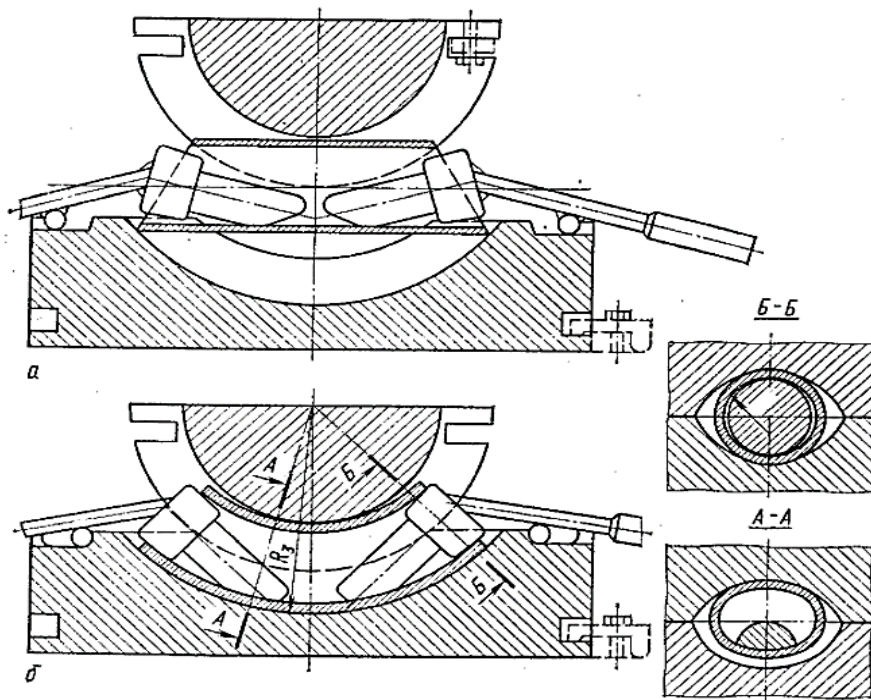
Рисунок 1.17 – Спiсiб штампування труби без використання пiдкладних торцевих оправок

4) Штампування iз перехiдною правкою показано на рисунку 1.20 та штампування iз складеною шарнирною вставкою – на рисунку 1.21; застосовують для тонкостiнних труб, якщо  $s / D = 0,05 \dots 0,65$  i  $R = (1,3 \dots 1,5) D$ , а також якщо  $s / D = 0,07$  i  $R = (0,85 \dots 1,0) D$ ; дає змогу ефективно формувати тонкостiннi вiдводи [18].



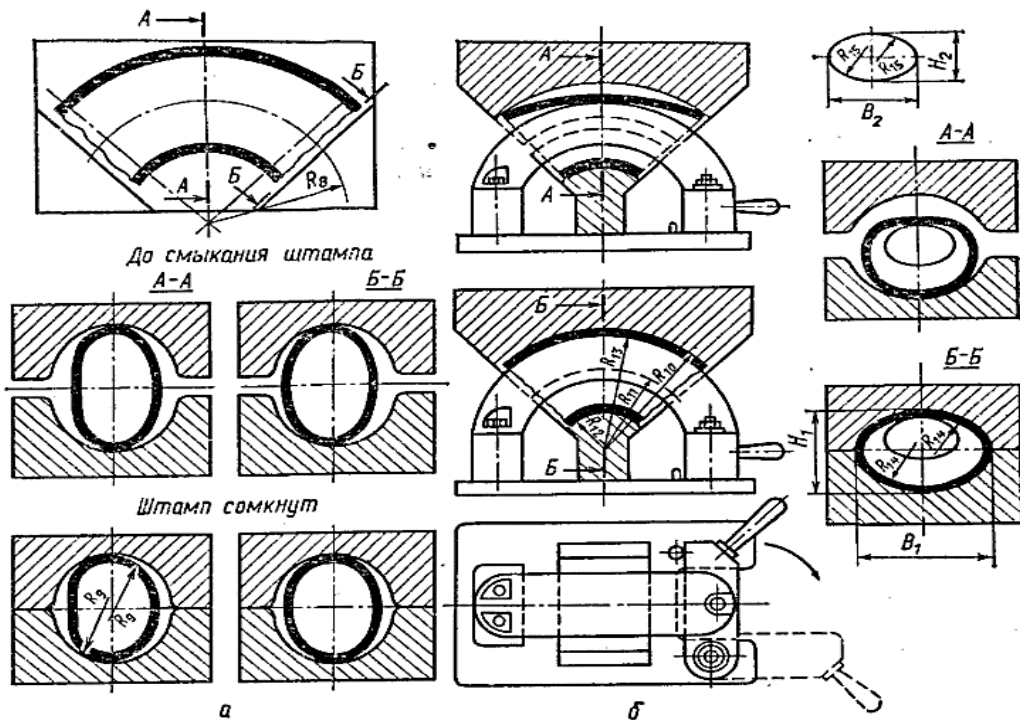
а – згинальний рiвчак; б – торцева оправка.

Рисунок 1.18 – Спiсiб штампування вiдводу з пiдкладними торцевими оправками



а – згинальний рiвчак у вихiдному положеннi; б – згинальний рiвчак у зiмкненому положеннi.

Рисунок 1.19 – Спосіб штампування відводу з внутрішнім пуансоном

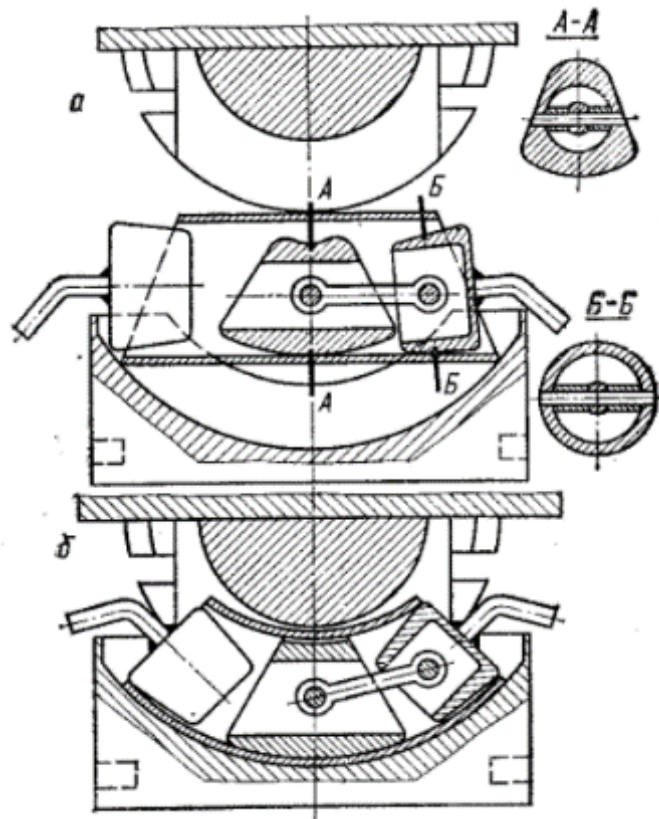


а – попереднє формування; б – правка

Рисунок 1.20 – Спосіб штампування труби з правкою

При штампуванні труб для отримання виробів з радіусом гнуття  $R_{гн} = (1,0 \dots 1,5) D_y$  виконується за декілька операцій в нагрітому стані. Технологічний процес такого способу проходить при наступні операції: розрізання труби на мірні заготовки, штампування труби, підрізування торців під зварювання, гідравлічні та інші випробування [16].

При виготовленні товстостінних відводів  $> 0,17$  та радіусу гнуття  $R_{зг} = (1,3 \dots 1,5) D_y$  штампування виконується на кривошипному або фрикційному пресі з двома рядами штампів для виконання двох операцій, таких як показано на рисунку 1.21.

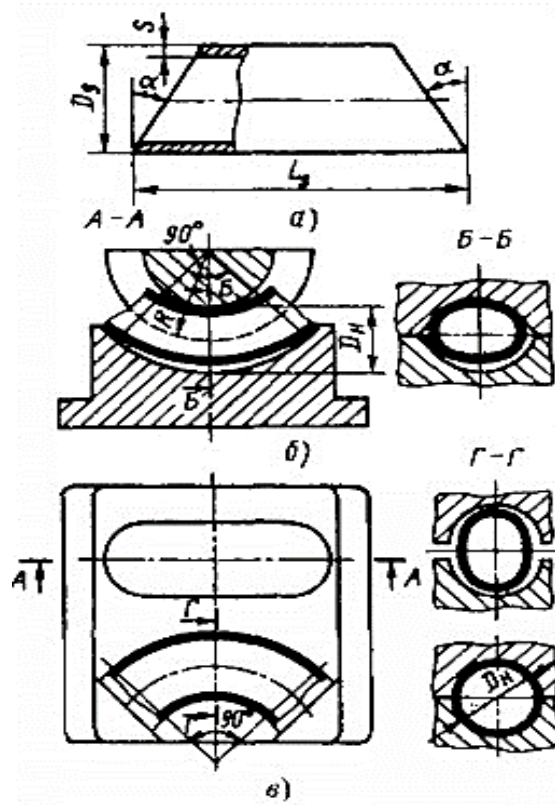


а – вихідне положення заготовки та вставки у згинальному рiвчаку;  
 б – згинальний рiвчак у зiмкнутому положеннi.

Рисунок 1.21 – Спосiб штампування вiдводу зi складеною шарнiрною вставкою

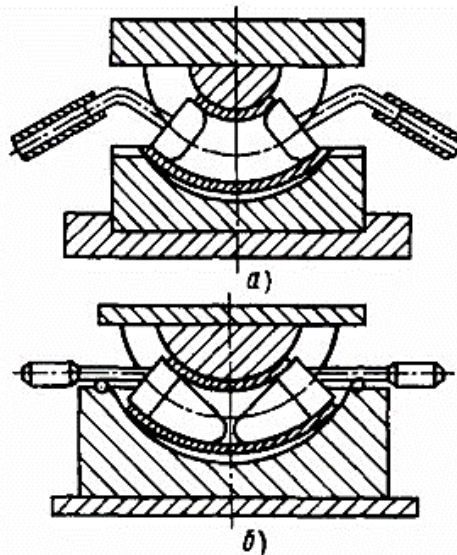
Трубно заготовку, нагрiту до температури кування, спочатку помiщають в гнуттєвий рiвчак штаму. У процесi ходу повзуна пресу заготовка гнеться i одночасно сплющується по дiаметру, набуваючи форми овалу.

У зiмкнутому станi поперечний перерiз згинального струму штаму може забезпечити овалiзацiю труби з вiдсутнiстю перешкод, звернiться увагу на рисунку 1.22, б – перерiз ББ.



а – вихідна заготовка; б – гнуття ; в – калібрування

Рисунок 1.22 – Спосіб штампування крутовигнутих відводів



а – з циліндричними оправками; б – з ложкоподібними оправками.

Рисунок 1.23 – Спосіб гнуття труб

Штамування по відношенню до тонкостінного відвода,  $S / D_y = 0,09...0,17$  і радіусом гнуття  $R_{гн} = (1,3...1,5) D_y$ , за допомогою спеціальної оправки, яка вставляється в торці заготовок, зменшується сплющення торців трубної заготовки рисунок 1.18, а. Діаметр торцевої оправки приймають  $(0,9...0,93) D_y$ , а кут конусності –  $1...10^\circ$  [19].

Під час штампування тонкостінних відводів  $S / D_y = 0,06...0,09$  використовується ложкоподібна оправка для гнуття рисунок 1.23, б. Необхідність їх використання обумовлена тим, що в поперечному перерізі трубної заготовки при згинанні спостерігається значна деформація, а на опуклій поверхні утворюється пряма частина. Після операції зігнуті внутрішні пуансони видаляють, а потім заготовку переносять в калібрувальний струмок штапу і калібрують описаним вище способом. Якщо пуансон затиснутий, заготовку калібрують разом із пуансонами, а потім легко їх видаляють [19].

#### 1.2.4 Технологія штампування з листа

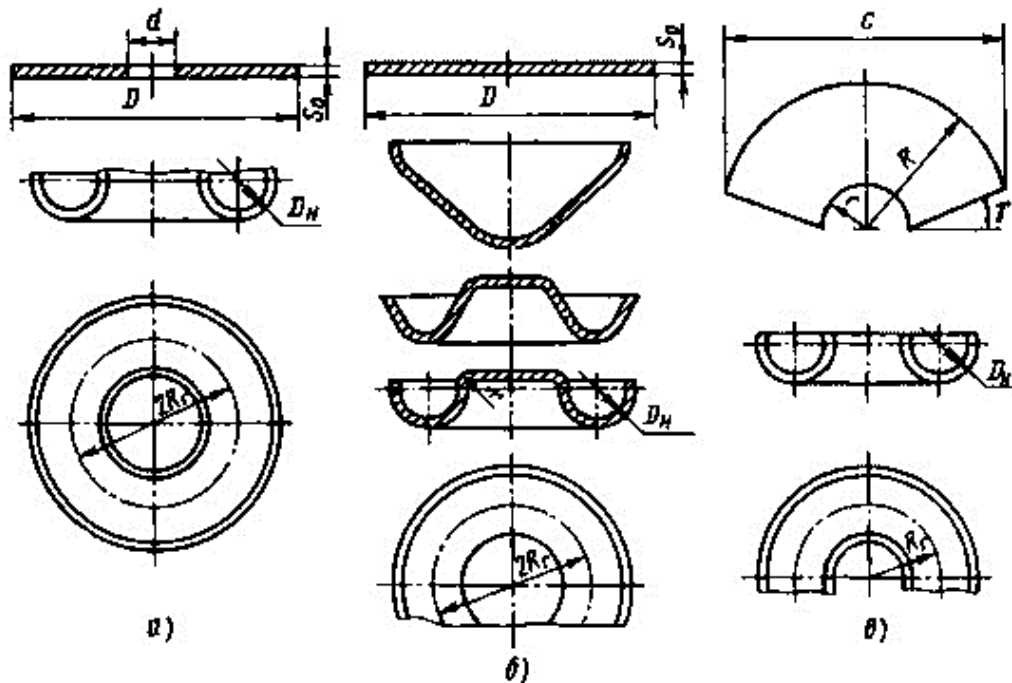
При виготовленні крутовигнутих відводів з листових заготовок, застосовуються різні технології. Однак у всіх випадках процес передбачає вирізання початкової заготовки (круглих, секторних або кільцеподібних) нагріваючи їх в газових печах і подальше штампування половинок тороподібних деталей в спеціальних штампах за допомогою однієї або декількох операцій, як показано на рисунку 1.24 [16].

Отримані таким чином тороподібні деталі, механічно обробляють, укладають одна на одну, зварюють і при необхідності розрізають на двійники або косинці (коліна з кутом згину  $180^\circ$  або  $90^\circ$ ). Незважаючи на те, що процес є більш складним, метод штампування та зварювання для виготовлення

крутовигнутих відводів все ще має багато переваг, а в деяких випадках він може бути більш економічним [20].

Головна перевага полягає в тому, що таким чином ви можете виготовляти відводи з будь-яким радіусом гнуття та будь-яким співвідношенням товщини стінки до діаметра  $S/D_y$ . При цьому в якості сировини може бути використаний листовий метал з різних сталей: нержавіючих, конструкційних, вуглецевих, кислототривких та ін. [15].

У деяких випадках штамповарювальна технологія виготовлення крутовигнутих відводів, може бути більш економічно вигідним, оскільки листовий прокат, що використовується для цього методу, являється дешевшим і менш дефіцитнішим, ніж безшовна труба. Особливо це стосується високолегованих труб з нержавіючої сталі, вартість яких становить половину вартості листового металу. [15].



а – з кільцеподібних листових заготовок; б – з круглих листових заготовок; в – із секторних листових заготовок.

Рисунок 1.24 – Спосіб отримання крутовигнутого відводу

Розглядаючи характеристики методу штампозварювання для виготовлення крутовигнутих відводів, слід зазначити, що для його здійснення не потрібно спеціальне обладнання та капітальні витрати.

Ця технологія застосовується для виготовлення товстостінних відводів з товщиною стінок  $s > 0,1D_y$  та радіусом гнуття  $R_{гн} = (1,0...1,5) D_y$ , великогабаритних крутовигнутих відводів та відводів з високолегованої сталі та сплаву [16].

Деталі штампують на гідравлічних пресах або фрикційних пресах (іноді кривошипних пресах) і штампують заготовки в гарячих або холодних умовах залежно від матеріалу та товщини стінки.

### **1.3 Технології виготовлення відводів у холодному стані**

Технологія гнуття труби в холодному стані широко застосовується при виготовленні та монтажі технологічних труб в умовах до 150 мм. Коли труба холодно зігнута, немає необхідності заповнювати піском або її нагрівати, тому порівняно з гарячим вигином продуктивність праці збільшується в 3-6 разів. Щоб уникнути сплюскування та втрати стійкості, коли труба зігнута в межах певного діапазону діаметрів, використовують внутрішню оправку із зовнішньою виїмкою (струмок) відповідно до розміру або комбінації зігнутої труби [21].

Існує безліч конструкцій верстатів та обладнання для гнуття труб в холодному стані, але всі вони можуть бути спрощені до трьох основних типів: обкаткою роликом, на двох опорах та з внутрішньої оправкою (дорном).

В якості технологічного обладнання застосовуються верстати для холодного згинання труб (ГТ). Верстати ГТ можуть експлуатуватися на відкритих монтажних майданчиках (в стаціонарних і напівстаціонарних

умовах), також у складі зварювальних колон при будівництві трубопроводів, в т.ч. газопроводів і нафтопроводів, відповідно до вимог ГОСТ 24950.

Для виготовлення гнутих відводів використовуються прямошовні та безшовні сталеві труби з зовнішнім діаметром 219-1420 мм із захисним покриттям, нанесеним в заводських умовах, і без покриття.

Таблиця 1.5 Трубогнуттєві верстати і їх характеристики

Марка станка	Дорн	Діапазон труби, мм
ГТ-1425	Д 1425, Д 1225	от 914 до 1420
ГТ-1022	Д 1023, Д 721, Д 531	от 508 до 1020
ГТ-532	Д 531	Ду 530, для діаметров труб 219÷ 426 дорн не применяется

З метою запобігання гофроутворення і зменшення овальності труб при їх згинанні використовується Дорн.

Гнуття проводиться шляхом обкатки труби за формою лекалом (башмаку) за допомогою трубогнуттєвого ложементу і системи гідроциліндрів. Верстати комплектуються цифровими кутомірами.

Трубогнуттєві моделі ГТ1022, ГТ532, ГТ1425 мають можливість гнуття труб високих класів міцності і з більшою товщиною стінки. Також моделі ГТ мають високу продуктивність, короткий гнуттєвий ложемент, що дозволяє отримувати відводи з меншими радіусами вигину, особливо при використанні дорнів. Вкладиші виготовлені з поліуретанового покриття або без покриття на діаметри труб [22].

### 1.3.1 Технологія гнуття труб за допомогою гідравлічного трубогнуттєвого верстата

Холодне гнуття виконується розміщенням труби на двох опорах і прикладання зусилля при згинанні посередині. В основному воно застосовується для труб з умовним проходом 100 мм (рідше понад 100 мм). Опори повинні бути виготовленні таким чином, щоб вони могли обертатися навколо своєї осі в міру гнуття труби. [21].

У цих пристроях, гнуття сегменту з'єднується зі штоком гідравлічного або гвинтового домкрата. Цей тип верстатів має форму ручного переносного гідравлічного трубогиба, який зручний для монтажу та обслуговування, коли трубу потрібно зігнути безпосередньо на місці. На верстатах, що працюють за цією схемою, можна виробляти та регулювати розмір труби, зігнутих на другому верстаті після термічної обробки. На цьому типі верстатів труба також може бути зігнута до різних площин. [21].

Продуктивність цього верстата досить низька. Для труб діаметром гнуття від 22 мм до 57 мм, використовують ручний гідравлічний трубогинач РТГ-2 (рис. 1.25, а). Сталевий корпус 3 трубогинача має гідравлічний циліндр 2 і шток 4. На одному кінці рухомого штока знаходиться сегмент гнуття 5. Нагрівання масла в циліндрі відбувається за допомогою ручного насоса 1. У вушках корпусу є отвори, в яких можна встановити осі двох поворотних опор 6. Гнуття труби відбувається таким чином: відповідно до діаметра зігнутої труби встановлюють сегмент та опори [21].

Трубу кладуть на опору та похитуванням руків'я насоса подають олію до циліндра. Коли шток циліндра висувається і сегментом гніт трубу. Для того, щоб повернути шток у початкове положення є пропускний клапан і поворотна пружина.

Трубогинач забезпечує комплектом гнуття сегментів та опорних роликів для кожного діаметра труби. Окрім ручного та портативного,

вживають стаціонарні, трубогиначі типу ТГС-127 (рисунок 1.25, б), а його гідравлічний насос приводиться в дію від електродвигуна. Трубогинач ТГС-призначений для гнуття труб через умовний прохід від 70 до 125 мм [21].



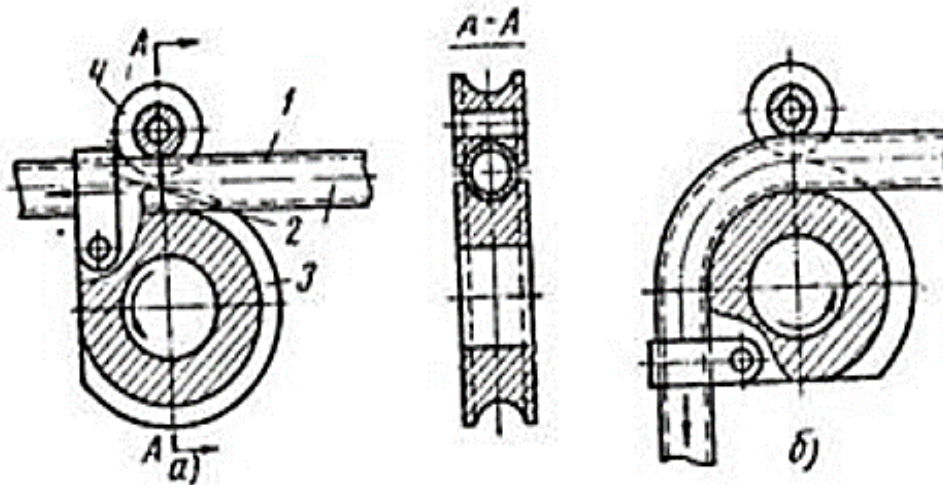
а - переносний з ручним приводом - РТГ-2; б - стаціонарний з електроприводом - ТГС-127; 1 - ручний насос; 2 – циліндр; 3 – корпус; 4 - шток циліндра; 5 – сегмент гнуття; 6 - поворотна опора

Рисунок 1.25 – Гідравлічні трубогнуттєві верстати

### 1.3.2 Технологія обкатуванням роликом

Холодне гнуття труб обкаткою застосовується роликом, для труб з умовним проходом до 70 мм, коли допускається деяка овальності перерізу. На рисунку 1.26 представлена схема труби, зігнутої шляхом обкаткою роликом. Труба 1 жорстко прикріплена до нерухомого згинального ролика 3 за

допомогою хомута 2, а обкатувальний ролик 4 рухається по дузі навколо ділянки згинання і згинає трубу. Для отримання високоякісного згинання радіус струмків згинальної секції та обкатного ролика повинні точно відповідати зовнішньому діаметру згинальної труби [21].



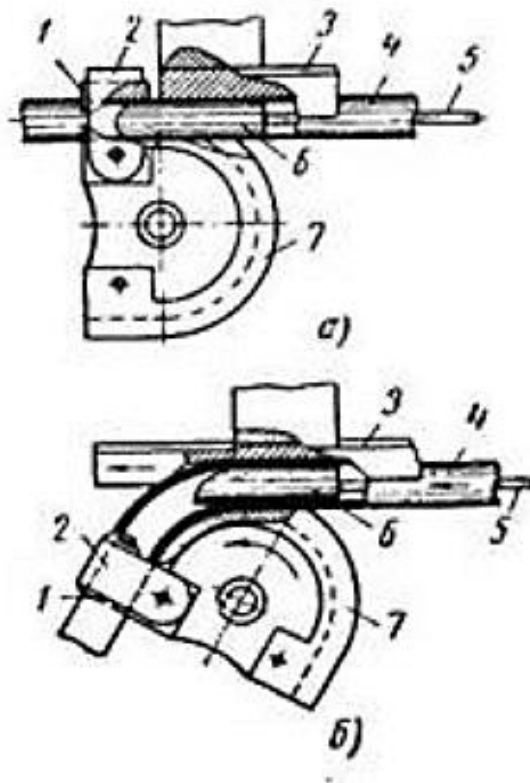
а) - положення на початку гнуття; б) - положення в кінці гнуття; 1 - труба, що згинається; 2 – хомут; 3 – ролик гнуття; 4 - обкатувати ролик.

Рисунок 1.26 – Схема гнуття труб обкаткою роликом

У процесі гнуття трубна заготовка набуває овальну форму, а іноді з'являються гофри. Для уникнення цих недоліків, вводять оправлення в місці згину труби [21].

### 1.3.3 Технологія виготовлення з внутрішнім оправленням

Гідравлічний верстат з внутрішньою оправкою широко застосовуються для гнуття труб діаметром від 57 до 159 мм. Ці верстати можуть забезпечити високоякісні результати гнуття (рисунок 1.27): трубу 4 надягають на штангу 5 із внутрішньою оправкою 6 (дорном), закріплюють кінець трубки між гнуттєвими дисками 7, мають напівкільцеву виточку (рівчак) і вставкою 1 з такою ж напівкільцевим виточенням за допомогою скоби 2.

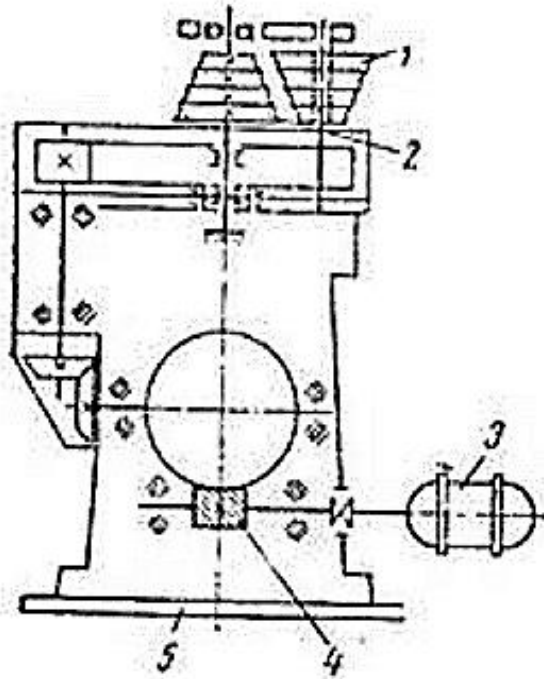


а - положення на початку гнуття; б - положення у кінці гнуття;  
 1 – вставка; 2 – скоба; 3 – повзун; 4 - труба; 5 – штанга; 6 - внутрішня оправка;  
 7 - гнуттєвий диск

Рисунок 1.27 – Схема гнуття труб з внутрішньою оправкою

Вставка труби притискається до гнуттєвого диску та міцно утримується в ривчаку. Коректне положення труби забезпечується повзуном 3. Під час гнуття диск обертається, захоплюючи трубу і стягуючи її з внутрішньої оправки. 6, труба, притиснута до повзуна за рахунок сили тертя, просуває його вперед. Внутрішнє оправлення, яка знаходиться в місці вигину в процесі всього гнуття, залишається нерухомою і оберігає трубу від освіти овальними і гофри. Внутрішнє оправлення зазвичай з'єднується зі штангою 5, довжина якої визначається довжиною трубної заготовки. Для отримання якісного гнуття необхідно, щоб диск для гнуття 7, вкладка 1 і оправлення 6 відповідали розмірам згинається труби 4. Радіус згинального диска підбирають відповідно до заданого радіусом гнуття. Струмки в диску і вкладиші повинні бути на 1-2 мм більше зовнішнього діаметра труби. За конструкцією внутрішні оправлення можуть бути суцільні і складові [21].

Групи, які належать до трубозгинального верстата, такі як СТВ і ВМС-23. Одноручні верстати СТВ-1/2, СТВ-3/4 і СТВ-1 використовуються для гнуття труб діаметром не більше 25 мм. Гідравлічні верстати мають скобу, на осі якої встановлений гнуттєвий сегмент, а для фіксації труби працюють ролик і хомут. Чотирьохривчаковий механізм ВМС-23 (рисунок 1.28) призначений для гнуття труб з умовним проходом 15-32 мм. Трубу для гнуття заводять у відповідний її діаметру струмок між сегментом, що згинається 2 та роликом для обкатування 1 і закріплюють хомутом. При включенні електродвигуна 3 ролик для обкатування оббігає навколо гнуттєвого чотирьохривчакового сегмента 2 і згинає трубу [21].

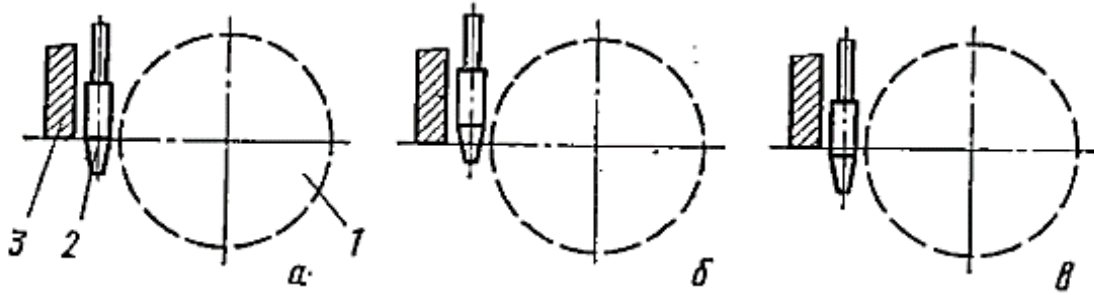


1 - обкатувальний ролик; 2 - гнущий сегмент; 3 – електродвигун; 4 - черв'ячний редуктор; 5 – станина

Рисунок 1.28 – Схема трубогнущого механізму типу ВМС-23 [21]

### 1.3.4 Технологія намотуванням с дорном

Холодне гнуття здійснюють обкаткою або намотування. Обкатку застосовують для труб діаметром до 50 мм. При цьому спосіб згинання труби навколо нерухомого згинального сектора (шаблону) за допомогою обкату ролика, який притискає її до цього сектора. Режим здійснюється безпосередньо самим роликом або через повзун. Ролик з повзуном переміщаються по колу від місця закріплення труби навколо згинального сектора на необхідний кут [23].



а - в місці початку гнуття; б - ззаду місця гнуття; в - попереду місця гнуття; 1 - згинальний ролик або сектор; 2 - дорн; 3 - скупуватий жолоб;

Рисунок 1.29 – Положення дорну при гнутті труб ( по розташуванню площини сполучення сфери кінця дорну з його циліндричною частиною)

Технологію гнуття намотуванням застосовують для труб зовнішнім діаметром до 426 мм. При цьому обертається сектор гнуття закріпленим на ньому кінцем труби, яка зовні підтримується притисочною планкою (повзуном), а зсередини дорном, одночасно оберігає її від втрати стійкості в зоні згину. Закріплений кінець труби захоплюється сектором, що вигинає, змушуючи решту її частину намотуватися на сектор. Установка дорна в місці початку гнуття запобігає надмірну овальність згину [23].

Зменшенню овальності сприяє установка дорна з деяким випередженням стосовно до точки згину (робочий кінець входить в гнутий ділянку труби). Однак необхідно мати на увазі, що при надмірному випередженні дорна збільшується стоншування стінки. Тому положення дорна визначають після пробного гнуття трьох або чотирьох зразків з відходів труб даної партії. Крім того, слід враховувати, що при згинанні товстостінних труб дорн необхідно зміщувати тому, а тонкостінних – вперед (Рисунок 1.29). При зайвому висунення дорна тому збільшується овальність згину, а при висунанні його вперед хоча і знижується овальність, але збільшується стоншування стінки, обважнює хід верстата, з'являються задираки на внутрішній поверхні труби і можливий обрив штанги дорна [23].

### 1.3.5 Технологія виготовлення на двох відокремлених опорах

Холодне гнуття труб діаметром до 350 мм можна робити шляхом укладання труб на дві опори і прикладання згинального зусилля до середини труби. Опори виконуються таким чином, щоб вони могли повертатися навколо своїх вісь в міру згинання труби. Сегмент гнуття в цих пристроях з'єднується зі штоком гідравлічного гвинтового домкрата [24].

Верстати даного типу дуже зручні при виконанні будівельних та ремонтних робіт, коли згинання труб потрібно зробити безпосередньо на будівельних ділянках. Крім того, на верстатах, які працюють за даним способом, можна здійснювати правку і підгонку під необхідний радіус труб, зігнутих на інших верстатах, після їх термообробки. На подібних верстатах можна також виробляти згинання труб з вигинами, що лежать в різних площинах. Верстати цього типу менш продуктивні, ніж верстати, що працюють за принципом намотування, тому застосування їх в великому і масовому виробництві недоцільно [24,25].

Збільшення кута вигину досягається шляхом послідовних пересувань труби для здійснення гнуття по ділянках. Згинальний сегмент повинен висуватися тільки на таку довжину, при якій величина вигину не перевищувала б довжини струмка згинального диска. Величину ходу штока і послідовність переміщення труби визначають дослідним шляхом [25].

На рисунку 1.30 наведено загальний вигляд гідравлічного верстата для холодного гнуття труб діаметром до 108 мм. Трубо гнуття гідравлічний верстат має наступний пристрій. У сталевому корпусі 6 переміщається плунжер 5. На одному кінці плунжера штифтом 7 прикріплюється змінною сегмент 8, на іншому-гвинтом 1 укріплена ущільнювальна шайба 4, манжета 3 і шайба 2. Масло під плунжер нагнітається ручним насосом. До провушина корпусу за допомогою віссю 17 прикріплюються чотири бічні планки 16. До

бічних планок за допомогою двох осей 10 прикріплюється дві опори труб 9 і дві поперечні планки 15.

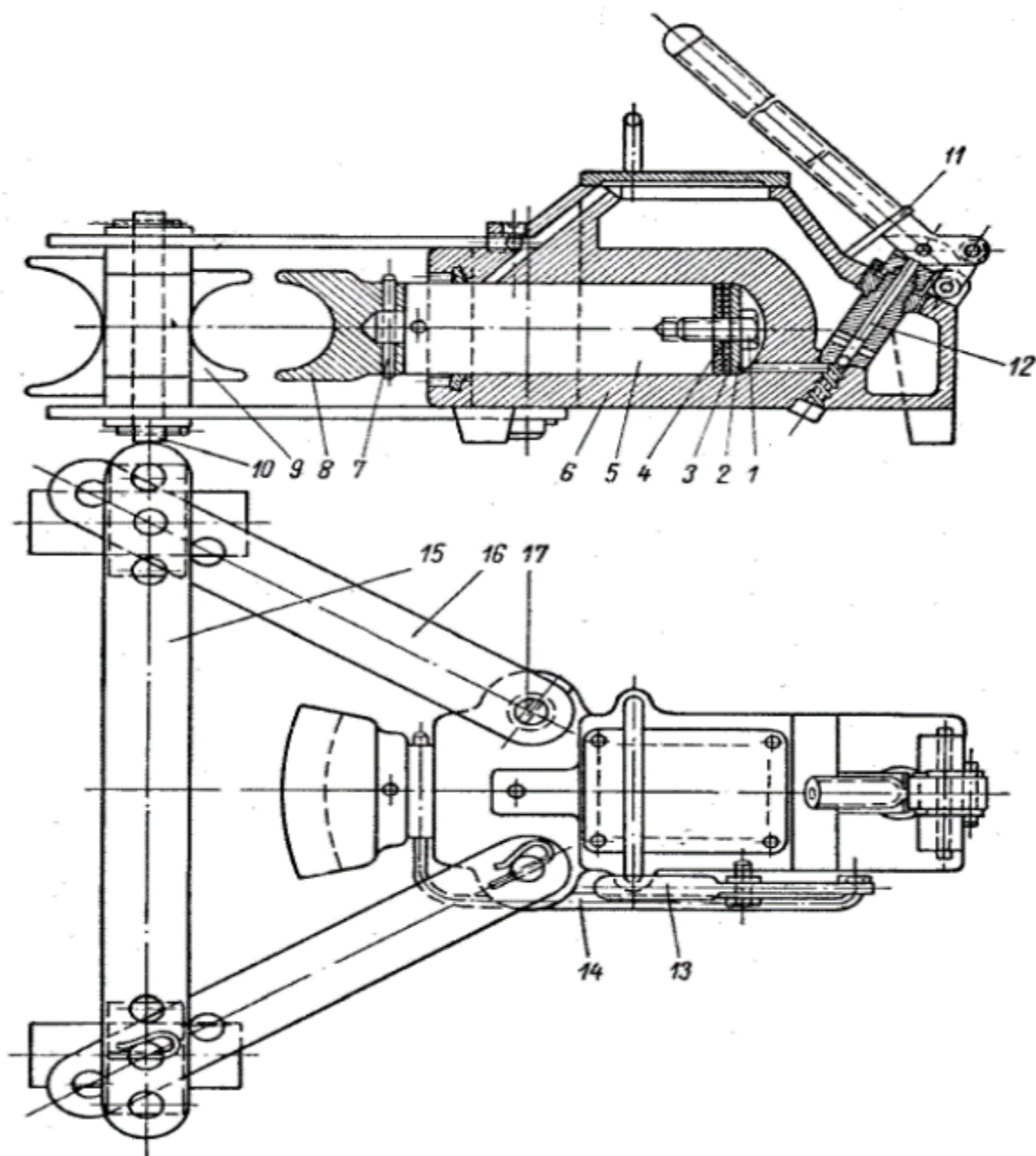


Рисунок 1.30 – Верстат з гідравлічним приводом для гнуття труб діаметром до 108 мм

Залежно від діаметра труби встановлюються відповідні сегменти і опори. Трубу укладають на опори, і насосом нагнітають під плунжер масло. Плунжер висувається з циліндра і сегментом тисне на трубу, створюючи.

необхідне для вигину труби зусилля. Для повернення плунжера у вихідне положення служать тяга 14 і важіль 13. При цьому наполегливу планку 11 відводять в сторону і опускають поршень насоса 12 вниз. Кінець плунжера натискає на кульки, даючи можливість маслу перейти з циліндра насоса в камеру. Згинання труб на подібних верстатах відбувається без опори всередині труби, тому для отримання якісного вигину необхідно, щоб радіус вигину був не менше 4-5 й. Практика показала, що трубогнуттєві верстати з двома опорами можуть застосовуватися для гнуття товстостінних труб [25].

### 1.3.6 Технологія холодного пластичного деформування

Інститут надтвердих матеріалів Національної академії наук України розробив технологію отримання крутовигнутих сталевих відводів методом холодної пластичної деформації за схемою немонотонного навантаження [26]. Розроблена технологія дозволяє виготовляти відводи з мінімально допустимим радіусом вигину в діапазоні зовнішніх діаметрів [26].

$D_n = 20-120$  мм з товщиною стінок  $s = (0,03-0,075) D_n$  і кутами від  $45^\circ$  до  $90^\circ$  з різних марок сталей, в тому числі і нержавіючих.

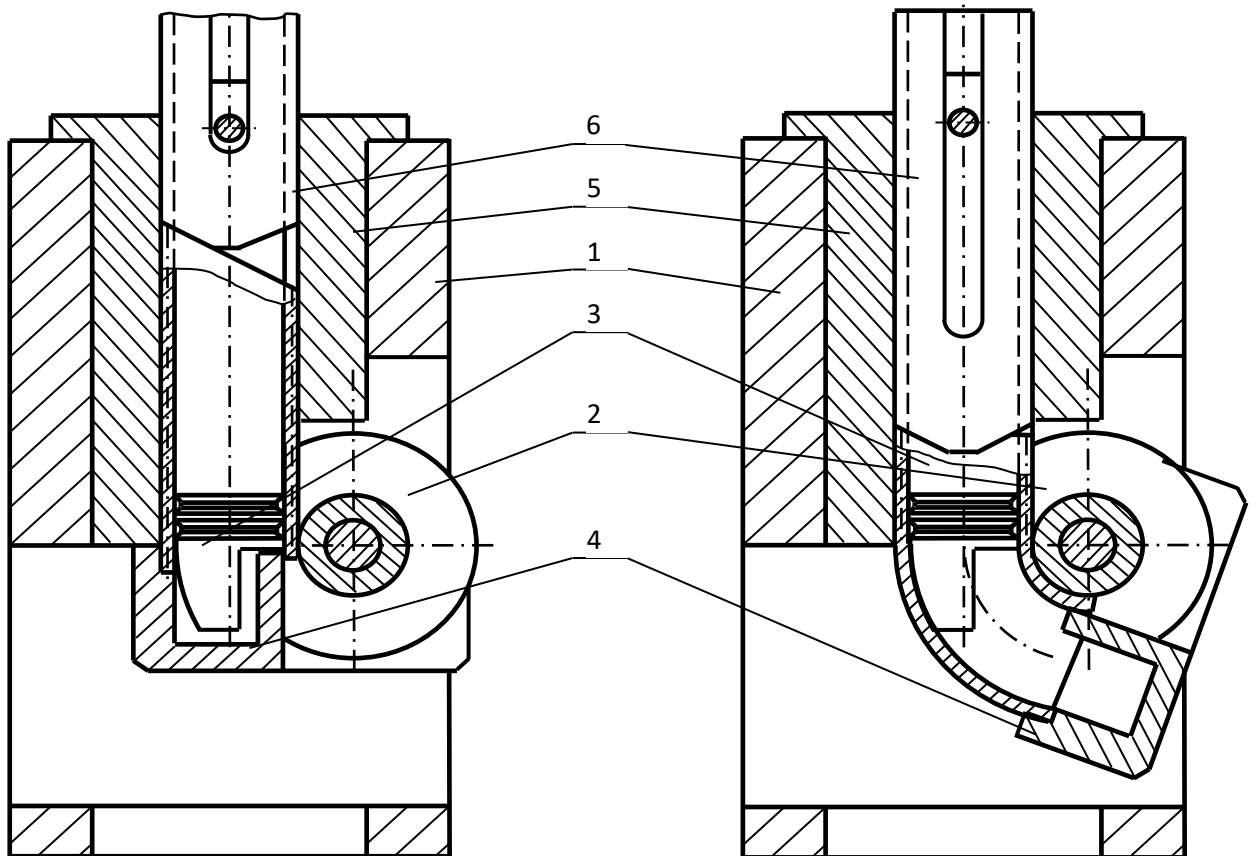
Холодне пластичне деформування дає більшу точність, забезпечує кращу якість поверхні, не вимагає нагрівання і спрощує процес. Виготовлення крутовигнутого відводу технологією холодного пластичного деформування забезпечує підвищений експлуатаційний ресурс, зменшення витрати металу, зниження трудових витрат, пов'язаних з формоутворенням складної поверхні, а також, підвищення продуктивності праці робітників [26]. Розроблена технологія заснована для використання пристрою виконаного за схемою, що поєднує в собі деформуюче протягування і метод намотування труб. Використання деформуючого протягування дозволяє застосовувати процес

зниження стійкості трубної заготовки для формування відведення з найменшим допустимим радіусом вигину [26].

Як зображено на рисунку 1.31 пристрій для формування відводів [26] складається з корпусу 1, в якому закріплені обертаються ролики 2 і деформуючий елемент 3. На одній осі з роликом встановлений важіль 4. У центральний отвір корпусу вставлена гільза 5 із закріпленим на ньому деформуючим елементом. Деформуючий елемент служить направляючою силою для штовхача 6. У початковий момент роботи важіль знаходиться в горизонтальному положенні. Трубна заготовка встановлена на гладкій частині деформуючого елемента. Пресуюча плита тисне на торець штовхача, при цьому заготовка проходить через робочу частину деформуючого елемента, тому відбувається роздача і калібрування внутрішнього діаметра заготовки. При подальшому русі заготовка потрапляє в область захоплення важеля і рухається вздовж робочої поверхні ролика разом із важелем. Радіусна частина деформуючого елемента запобігає отриманню овальності виробу вище допустимого діапазону [26]. Радіусна частина ролика оберігає відвод від появи гофр в місці вигину. Після закінчення формування відводу готовий виріб подається через вікно в корпусі [26].

Технологія виготовлення крутовигнутого відвода способом ХПД має такі етапи [26]:

- Вхідний контроль труб;
- Розрізання труб на подвійні заготовки;
- Розрізання подвійних заготовок;
- Зачистка торців заготовки;
- Очищення заготовки;
- Формування радіуса вигину відводу;
- Відрізка торців;
- Зачистка торців;
- Очищення відведення, вихідний контроль, упаковка.



1 – корпус; 2 – ролик; 3 – деформуючий елемент; 4 – важіль; 5 – гільза;  
6 – штовхач.

Рисунок 1.31 – Схема пристрою для формоутворення крутовигнутого відвода технологією холодного пластичного деформування:

### 1.3.7 Технологія прошовування через філь'єру з криволінійною віссю

Гнуття – найпоширеніша операція виготовлення крутовигнутих деталей з труб. Цю операцію можна виконати у прес-формі, на прокатному стані або в верстаті гнуття та обладнанні.

Технологія холодного гнуття труб має очевидні переваги перед гарячим способом. Цей метод має вищий технічний вміст і збільшує продуктивність у

кілька разів, тим самим знижуючи витрати. Холодним способом виробляються відводи з кольорових металів. Мідь та алюміній дуже пластичні, що дозволяє гнути вироби без нагрівання. І один за таких способів є технологія прошовхування через філь'єру з криволінійною віссю.

У середині минулого століття люди знали про метод гнуття прошовхуванням, але поки що в технічній літературі недостатньо інформації про деформаційні характеристики заготовки та граничні параметри зміни форми [10].

Без грубої схематизації процесу важко проаналізувати та визначити напружено-деформований стан трубної заготовки під час процесу гнуття за допомогою сили. Фокусна точка деформації нестационарна. Її межі та граничні умови змінюються. Напружено-деформований стан трубної заготовки змінюватиметься з часом і переходом від точки до точки.

Деформація та зміцнення матеріалу під час процесу формування описуються кривою зміцнення, отриманою при одновісному розтягуванні досліджуваного зразка [9].

Розміри внутрішнього отвору пристосування. Приймальна зона труби - пряма циліндрична поверхня з діаметром  $d_1$ , рівним зовнішньому діаметру труби, і довжиною

$$l = \frac{d_1}{3}. \quad (1.2)$$

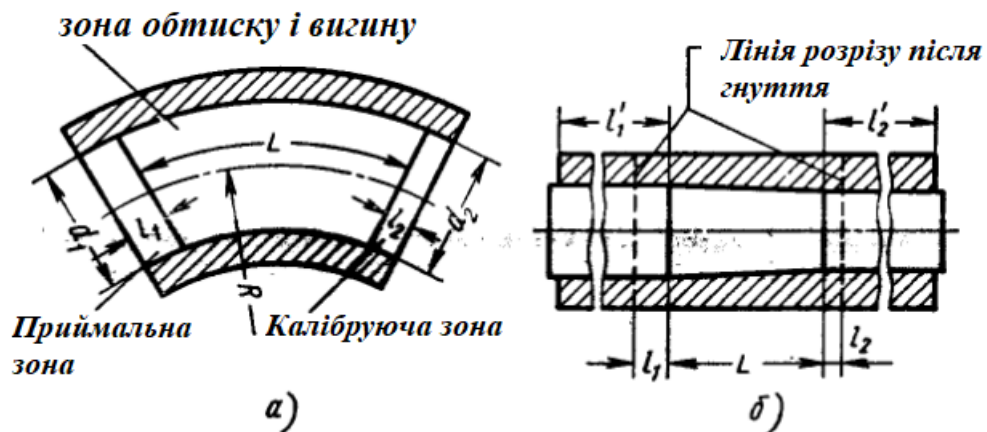
Зона обтиснення і гнуття – криволінійна конічна поверхня, довжиною  $l = 2 \div 2,5d_1$  причому мінімальний радіус  $R \geq 6d_1$ . Обтиснення або конусність

$$\frac{d_1 - d_2}{d_1} \cdot 100\% = 2\%. \quad (1.3)$$

Калібруюча зона – пряма циліндрична поверхня діаметром  $d_2$  і завдовжки

$$l_2 = \frac{d_1}{4} \quad (1.4)$$

При малих діаметрах труби і великих радіусів згину, потрібно невелике зусилля для прошовування труби. В цьому випадку пристосування затискають в лещатах і прошовує ударами молотка.



а - філь'єра; б - філь'єра зі вставним конусом для зменшення овальності.

Рис. 1.32 – Гнуття труб через філь'єру, що має криволінійну вісь

При гнутті труб великого діаметру, обладнання встановлюється на прямокутні сталеві рами, які забезпечені черв'ячним гвинтом для створення

необхідних зусиль проштовхування. Максимальний діаметр труби, що використовується для гнуття, визначається можливістю регулювання необхідних розмірів.

Найбільш проста технологія виготовлення. Для гнуття сталевих труб роблять сталеву втулку з прямолінійною конусністю, наведеної вище. Довжина ділянок  $L_1$  і  $L_2$  береться довільної і зручною для подальшого гнуття [6,7,27].

Результати показують, що процес формування відведення проштовхуванням в матрицю має свої особливості. Процес базується на більш складній схемі, ніж звичайний процес згинання. Два процеси відбуваються одночасно: гнуття та поздовжнє зміщення елементів заготовки [9]. Наявність зсувних деформації, що розвивається вздовж осьового напрямку, зменшує кількість деформації в областях натягу та стиску. Змінюється зображення деформованого стану заготовки. Заготівлю можна зігнути на менший радіус.

## 1.4 Висновки

У першому розділі магістерської роботи був проведений літературний аналіз, в якому розглянуто різні технології виготовлення крутовигнутого відвода.

Було розглянуто основні характеристики крутовигнутих відводів та технологія виготовлення у гарячому та холодному стані.

Перша технологія, яка розглядалася – технологія виготовлення крутовигнутого відводу способом гарячого протягування по спеціальній вставці. З економічної точки зору ця технологія має дуже високу вартість, оскільки електроенергія використовується для нагрівання та експлуатації обладнання.

Друга технологія гнуття з локальним нагріванням струмом високої частоти. Вона також є не менш «затратною» від першої технології.

Отже, усі технології гарячого гнуття крутовигнутих відводів є економічно не вигідними.

Також розглянуто технології холодного гнуття. З усіх технологій визначено, що технологія проштовхування через філь'єру з криволінійною віссю – є менш затратною, так як електроенергія потрібна тільки для роботи обладнання. Але є негативним фактором використання дороговартісних наповнювачів або оправок.

Тому дослідження особливостей технології проштовхування через отвір матриці з криволінійною віссю без наповнювачів є актуальним завданням магістерської роботи.

## 2 МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ

### 2.1 Матеріали

#### 2.1.1 Сталь 3

Сталь 3 – це універсальний конструкційний матеріал. Ст3 застосовується для виготовлення несучих і не несучих елементів для відварних і не зварних конструкцій, а також деталі, що працюють при позитивних температурах.

У таблиці 2.1 зображено масова частка основних хімічних елементів [28].

Таблиця 2.1 – Масова частка основних хімічних елементів, %

С - вуглець	Mn - марганець	Si - кремній
0,14-0,22	0,40-0,65	0,15-0,30

Таблиця 2.2 – Технологічні властивості [28].

Кування	Температура кування: початку 1300°C, кінця 750°C. Охолодження на повітрі.
Зварюваність	Зварюється без обмежень. Способи зварювання: ручне дугове зварювання, автоматична дугова зварка, електрошлакове зварювання, контактне зварювання. Для товщини більш 36 мм рекомендується підігрів і подальша термообробка.
Оброблюваність різанням	У гарячекатаному стані при HB 124 і $\sigma_v = 400$ МПа: $K_v$ твердий сплав = 1,8; $K_v$ швидкоріжуча сталь = 1,6.

## Продовження таблиці 2.2

Флокеночутливість	Не чутлива
Схильність до відпускної крихкості	Не схильна

Без залізного сплаву Ст3 не збудують будинок, що не прокладуть комунікації, які не виготовлять промислове обладнання і транспортні засоби [29].

До продуктів зі Сталі 3 відносяться, згідно з [29]:

- прокат (сортового і фасонного типу; тонко і товстолистовий);
- стандартний, прямокутний трубопровід;
- ковані і штамповані вироби;
- дріт або сталева стрічка;
- труби.

Ця вуглецева сировина використовується для виробництва кола, балки, швелера або шестикутника. Затребуваність сталі пояснюється щільністю і ступенем розкислення. Сплав дійсно добре піддається зварюванню. Можна використовувати дугові, електрошлакові, контактні-точкові способи. З сталі Ст3 виробляють декоративні ковані вироби: огорожі, решітки, перила, труби [29].

### 2.1.2 Сталь X12M

Характеристика сталі X12M. Інструментальна легована штампована марка X12M відноситься до групи сталей, що деформують матеріал в холодному стані. За структурою вона належить до розряду високо хромистих. Крім того, в ній міститься велика кількість заліза.

X12M відрізняється хорошою стійкістю проти стирання, підвищеною зносостійкістю, достатнім рівнем в'язкості і пластичності. Вона легко полірується і досить технологічна [30].

За своєю корозійної стійкості вона набагато перевершує деякі марки, проте міцність у неї трохи нижче.

Ну а по ріжучим здібностям вона заслужено посідає перше місце серед звичайних і нержавіючих сталей. У сукупності з цими якостями, X12M має відносно невисоку вартість, що робить її дуже привабливою для використання [30].

У таблиці 2.3 зображено хімічний склад матеріалу X12M [30].

Таблиця 2.3 – Хімічний склад в% матеріалу X12M

<b>C</b>	<b>Si</b>	<b>Mn</b>	<b>S</b>	<b>P</b>	<b>Cr</b>	<b>Mo</b>	<b>V</b>
1.45-1.65	0.15-0.35	0.15-0.4	до 0.03	до 0.03	11-12.5	0.4-0.6	0.15-0.3

## 2.2 Обладнання

### 2.2.1 Гідравлічний прес ПГ-100А

Гідравлічний прес з випробувальний зусиллям 100 т. типу ПГ-100А контрольно-вимірвальний пристрій, загальний вигляд якого зображено на рисунку 2.1. Показники пресу характеризується середньою відносною похибкою відхилення дійсного навантаження в межах  $\pm 1\%$  для кожної точки, яка перевіряється та відповідає вимогам інструкції вимірвальних приладів [31].

Наведено в таблиці 2.4 технічні характеристики гідравлічного пресу ПГ-100А згідно [31].

Таблиця 2.4 – Характеристики гідравлічного пресу ПГ-100А

Назва параметра	ПГ-100А
Номінальне зусилля преса, кН (т)	1000 (100)
Найбільший хід повзуна (штока), мм	200
Електродвигун головного привода, кВт	0,6
Габарити преса (довжина, ширина, висота), мм	1440x750x2965
Маса преса, кг	2790



Рисунок 2.1 – Загальний вид гідравлічного пресу ПГ-100А

Прес гідравлічний ПГ-100А може бути застосований для випробувань з стисканням, поперечне і повздожне гнуття деталей, вузлів конструкцій, а також зразків з металу та металевих матеріалів. Прес дозволяє здійснювати випробування на стискання і поздовжне гнуття при навантаженнях до 100 т. і поперечне згинання до 7,5 т.м [31].

### 2.2.2 Прес гідравлічний П481А

П481А – це гідравлічний прес, за допомогою циліндра створюється велика стискаюча сила. Гідравлічний прес П481А використовує гідравлічний еквівалент механічного важеля, який використовується для обробки матеріалів тиском.

На рисунку 2.2 зображено загальний вигляд гідравлічного пресу, який виконаний вертикальним.

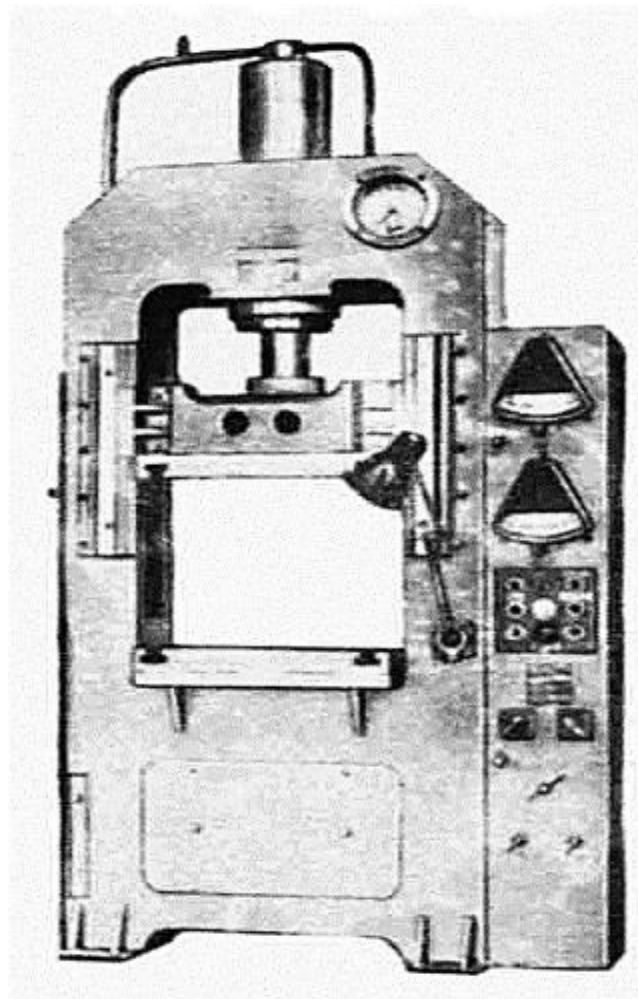


Рисунок 2.2 – Загальний вид гідравлічного пресу П481А

Гідравлічний прес встановлюється на фундаменті зліва і з'єднується з ним трубами. Гідравлічний прес передбачає роботу на напівавтоматичних режимах і забезпечує спостереження за обігріванням прес-форм і тиском рідини, а також автоматичне регулювання температури обігріванням [32].

В таблиці 2.5 подані характеристики гідравлічного преса П481А [32].

Таблиця 2.5 – Технічні характеристики преса П481А

Назва параметру	П481А
Номінальне зусилля преса, кН (т)	400 (40)
Найбільший хід повзуна (штока), мм	320
Електродвигун головного привода, кВт	4
Габарити преса (довжина, ширина, висота), мм	1500x1085x2150
Маса преса, кг	1445

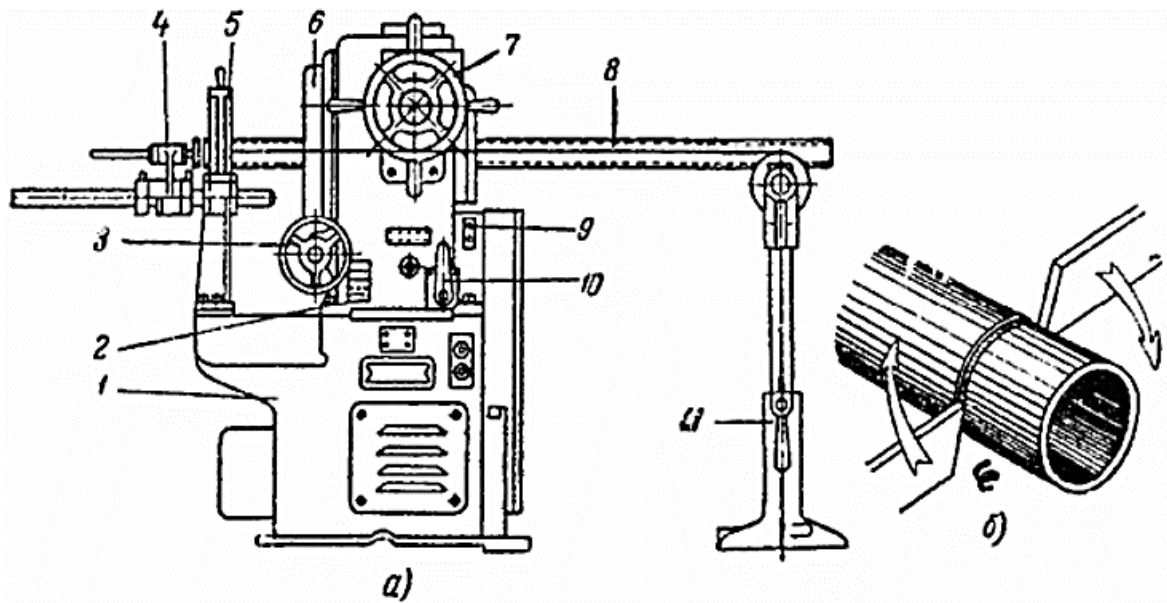
### 2.2.3 Верстат для різання труби С-246А

Верстати для різання труб (труборізи) – це незамінне обладнання при прокладуванні і заміни трубопроводів будь-якого призначення та елементів з'єднання.

Для невеликих обсягів робіт можна використовувати переносні труборізи, які необхідні не тільки для розрізання труб, але і для обробки країв заготовок чи готових виробів. Якщо необхідна високоточна обробка великої кількості трубопрокату або масивних товстостінних труб для нафтопроводу і теплотрас, то будуть потрібні стаціонарні верстати, для різання труб. Розрізання труб нестандартних розмірів або труб великого діаметру виконується з одночасною обробкою країв труби для подальшого з'єднання стиків [33].

Труби розрізають на трубовідрізних, спрощених токарних і револьверних верстатах. На трубовідрізних верстатах досягається велика продуктивність і кромки виходять більш чистими.

На рисунку 2.3, а показаний трубовідрізний верстат С-246А, призначений для різання труб діаметром до 100 мм. Всі основні частини верстата змонтовані на станині 1. Верстат має коробку швидкостей 2. Відрізна головка закрита запобіжним металевим кожухом 6, в якій радіально закріплені два різці [34].



а - загальний вигляд ставка з підставкою; б - схема розрізання труби.

Рисунок 2.3 – Процес розрізання труби на труборізальному верстаті С-246А

Відрізна головка може обертатися зі швидкістю 218 чи 109 об/хв. Для перемикання швидкостей служить ручка 10. Розбита труба 5 затискається в трикулачному затискачі при повороті штурвала 7. Для затискання труб

діаметром 30 мм застосовують спеціальні губки. Труби великих діаметрів затискають у трикулачному затискачі. Верстат має упор-обмежувач 4, за допомогою якого можна розрізати серію труб однакової довжини [34].

Для підтримки довгого виступаючого кінця розрізає труби в горизонтальному положенні служить стійка-підставка 11. Другий кінець труби підтримується люнетом 5. Електродвигун верстата включається кнопковим пускачем 9, при цьому починає обертатися відрізна головка із закріпленими різцями. При повороті штурвала 3 за годинниковою стрілкою різці будуть зближатися і заглиблюватися в трубу, як показано на рисунку 2.3, поки вона не буде розрізана на дві частини. Як тільки труба буде розрізана, різці розводять, для чого штурвал 3 обертають проти годинникової стрілки. Труби після розрізання звільнюються з притиску поворотом штурвала 7 [34].

При роботі різці охолоджуються емульсією, яка подається насосом, який приводиться в рух від приводного вала коробки швидкостей [34].

#### **2.2.4 Твердомір ТК-2М**

Прилад ТК-2М настільного типу призначається для визначення твердості металів по методу вдавнення алмазного конуса або сталевий кульки під дією заданого навантаження протягом певного часу [35].

Випробування проводиться відповідно з ГОСТ 9013–59 “Измерение твердости по Роквеллу”.

Загальний вигляд, якого зображено на, рисунку 2.4



Рисунок 2.4 - Твердомір для металів ТК-2М

В конструкцію приладу входять наступні основні механізми, змонтовані в чавунної литої станини закритого типу:

- важільний пристрій для створення випробувального навантаження і вимірювання глибини відбитка за допомогою індикатора;
- привід приладу електродвигуном змінного однофазного струму на 220 вольт;
- механізм підйому зі змінними столами для установки випробуваного виробу;
- шток, за допомогою якого здійснюється накладення та зняття випробного навантаження.

В приладі застосований механізм навантаженого типу важеля з передавальним відношенням 1:24, розташований у верхній частині станини [35].

Технічні характеристики твердоміру ТК-2М для металів згідно з [36] представлені в таблиці 2.6.

Таблиця 2.6 – Технічні характеристики твердоміра ТК-2М

Приблизна твердість металу Нв	Позначення шкали	Вид наконечника	Навантаження кг	Позначення твердості по Роквеллу	Допустимі межі шкали
60 – 240	В	Сталева кулька	100	HRB	25 – 100
240 – 900	С	Алмазний конус	150	HRC	20 – 67
390 – 900	А	Алмазний конус	60	HRA	70 – 85

### 2.2.5 Токарний верстат А62

Верстат А62 – це токарно верстат здатний виконувати різні функції та операції, а, точніше, виробляти конічні, фасонні та циліндричні деталі різних розмірів і параметрів [37].

На рисунку 2.5 зображено Верстат А62



Рисунок 2.5 – Загальний вигляд токарного верстата А62

Наведено в таблиці 2.7 технічні характеристики токарного верстата А62 [37].

Таблиця 2.7 – Технічні характеристики токарного верстата А62

Маса моделі (без електрообладнання) від ВМЦ	Від 2045 до 2370 кг
Довжина точіння від ВМЦ	Від 650 до 1400 мм
Конус переднього шпинделя	Морзе 5
Діаметр посадкового отвору шпинделя	38мм
Кількість перемикачів оборотів коробкою швидкостей	21

Продовження таблиці 2.7

Число оборотів в хвилину на шпинделі робочий хід	Від 11,5 до 1200 хв
Номінальні обороти на приводному шківі	730 хв
Число поздовжніх і поперечних подач	35
Кількість варіантів різьб	19 метричних 10 модульних 20 дюймових 24 пітчевих
Потужність приводу шпинделя	7 кВт
Висота обладнання	1210мм
Максимум діаметра деталі при обробці над супортом	210 мм
Максимум діаметра деталі при обробці над станиною	400 мм
Показник займаної площі (довжина x ширина, в залежності від типу ВМЦ)	Від 2510x1580 до 3170x1580мм

### 2.2.6 Муфельна електрична піч типу МП-2М

Муфельна електрична піч – це піч, яка має муфель, який захищає вироби від прямої дії вогню та продуктів горіння при випалюванні або нагріванні.

Муфельна електрична піч призначена для швидкого висушування зразків, нагріву, загартування, випалення різних матеріалів в повітряному середовищі і інших високотемпературних операцій, а також проведення всіляких лабораторних досліджень на виробництві, наукових дослідницьких і медичних установах, лабораторіях, і т.д. [38].

На рисунку 2.6 зображена муфельна електрична піч типу МП-2М.



Рисунок 2.6 – Муфельна електрична піч типу МП-2М

Піч складається з наступних основних частин:

1. Циліндричного корпусу з листової сталі, всередині якого вміщено муфель з нагрівальним елементом

2. Підставка на яку встановлюється піч. Простір між корпусом печі та муфелем заповнений теплоізоляційним матеріалом. Муфель закривається дверцятами вкладишем з шамоту. У відкритому положенні дверцята встановлюється горизонтально, утворюючи продовження під печі. В задній стінці печі передбачено отвір для термопар. Вивідні контакти печі

знаходяться в задній стінці підставки і захищені від випадкових дотиків ковпачком [39].

Автоматичне регулювання температури в робочому просторі печі здійснюється терморегулятором, чинним на принципі дилатометра, а вимір температури термопарою [39].

Технічні характеристики наведено в таблиці 2.8.

Таблиця 2.8 – Технічні характеристики муфельної електричної печі типу МП-2М

Потужність	2600 Вт
Напруга мережі	220В
Максимальна робоча температура	1000°C
Автоматичне регулювання температури	від 400°C до 1000°C
Коливання температури зразка	± 6°C
Розмір печі ВхШхД в мм	95х175х263 мм
Вага печі	60 кг

### 2.3 Висновки

При написанні другого розділу магістерської роботи розглянуто обладнання та матеріал, які використовуються в процесі дослідження особливостей технології проштовхування через отвір матриці з криволінійною віссю без наповнювачів.

Це гідравлічний прес ПГ-100А, прес гідравлічний П481А. Також був використаний верстат для різання труби С-246А. Твердомір ТК-2М настільного типу використовувався для визначення твердості металів. Токарний верстат А62 – верстат здатний виконувати різні функції та операції, а, точніше, виробляти конічні, фасонні та циліндричні деталі різних розмірів і параметрів. Муфельна піч типу МП-2М для нагрівання металу.

У якості матеріалу трубної заготовки використовувалась Ст 3. Складальні матриці та пуансон виготовлені зі сталі Х12М.

## 3 ДОСЛІДНА ЧАСТИНА

### 3.1 Планування дослідження

Ухвалення проектних рішень в будь-якій галузі промисловості і оцінка їх якості в основному здійснюються на підставі даних експерименту.

Експериментом називають цілеспрямований вплив на об'єкт дослідження з метою отримання про нього достовірної інформації.

Планування експерименту – це засіб побудови математичних моделей різних процесів з метою підвищення ефективності експериментальних досліджень: скорочення часу і коштів на проведення експерименту, підвищення достовірності результатів дослідження [40].

У практиці наукових досліджень параметр оптимізації зазвичай залежить від кількох факторів. Багатофакторні експерименти проводяться для побудови лінійних моделей.

Повний факторний експеримент (ПФЕ) – це експеримент, в якому реалізуються всі можливі, не повторюються комбінації рівнів факторів [40].

Зазвичай зустрічаються плани експерименту типу  $2^k$  (два рівня варіювання факторів), рідше  $3^k$  і дуже рідко при  $p > 3$  в зв'язку з різким зростанням числа незалежних дослідів [40].

#### 3.1.1 Аналіз факторного плану типу $2^k$

Умови експерименту зазвичай записують у вигляді матриць планування експерименту, як наведено в таблиці 3.1, де рядки відповідають різним незалежним дослідом, а стовпці - значенням (рівням) чинників [40].

Таблиця 3.1 – Матриця планування експерименту  $2^k$ 

Номер експерименту	$X_1$	$X_2$	$y$
1	-1	-1	$y_1$
2	+1	-1	$y_2$
3	-1	+1	$y_3$
4	+1	+1	$y_4$

Особливо корисні плани типу  $2^k$  на ранніх стадіях досліджень, оскільки на цьому етапі часто потрібно враховувати багато факторів. При використанні цього типу плану кількість комбінацій обробки, доступних для повного вивчення факторів  $k$ -факторів, є найменшою. Оскільки для кожного фактору використовуються лише два рівні, ми повинні припустити, що відповідь приблизно лінійна в межах варіації вибраного рівня. [41].

### 3.1.2 План типу $2^k$

Досліджуються три фактори А, В і С, і вони знаходяться на двох рівнях. Цей факторний експеримент відповідає плану  $2^3$ ; вісім комбінацій обробки можуть бути графічно представлені у вигляді вершин куба, як показано на рисунку 3.1. Зазначимо комбінації обробки в стандартному порядку: (1), а, b, ab, с, ас, bc та abc. Нагадаємо, що ці букви також представляють суму всіх спостережень за комбінованою обробкою [41].

Якщо використовувати вісім комбінацій обробок, ми можемо оцінити основні ефекти А, В і С, двофакторну взаємодію АВ, АС і ВС та трифакторну взаємодію АВС [41].

Середній ефект А – середнє арифметичне зазначених чотирьох величин, визначають за формулою 3.1 [41]:

$$A = \frac{1}{4n} [a - (1) + ab - b + ac - c + abc - bc] \quad (3.1)$$

Представимо отриманий вираз у вигляді порівняння чотирьох комбінацій обробки з правого боку куба ( де А знаходиться на верхньому рівні) та обробки з чотирьох комбінації з лівого боку (де А на нижньому рівні) за формулою 3.2 [41]:

$$A = \frac{1}{4n} [a + ab + ac + abc - (1) - b - c - bc] \quad (3.2)$$

Подібним чином, ефект В є контрастом для порівняння чотирьох обробок на звороті куба з чотирма обробками спереду, що визначається за формулою 3.3 [41]:

$$B = \frac{1}{4n} [b + ab + bc + abc - (1) - a - c - ac] \quad (3.3)$$

Ефект С використовується для порівняння чотирьох комбінацій обробки на верхній поверхні куба з чотирма комбінаціями обробки на нижній поверхні і визначається за формулою 3.4 [41]:

$$C = \frac{1}{4n} [c + ac + bc + abc - (1) - a - b - ab] \quad (3.4)$$

Середній ефект АВ – це середнє арифметичне двох величин, які визначаються за формулою 3.5 [41]:

$$AB = \frac{1}{4n} [ab - b - a + (1) + abc - bc - ac + c] \quad (3.5)$$

Середні ефекти АС та ВС визначають за формулами 3.6 та 3.7 [41]:

$$AC = \frac{1}{4n} [(1) - a + b - ab - c + ac - bc + abc] \quad (3.6)$$

$$BC = \frac{1}{4n} [(1) + a - b - ab - c - ac + bc + abc] \quad (3.7)$$

Формулою 3.8 визначається ефект АВС – середня різниця між АВ взаємодіями двох рівнів С [41]:

$$\begin{aligned} ABC &= \frac{1}{4n} \{ [abc - bc] - [ac - c] - [ab - b] + [a - (1)] \} = \quad (3.8) \\ &= \frac{1}{4n} [abc - bc - ac + c - ab + b + a - (1)] \end{aligned}$$

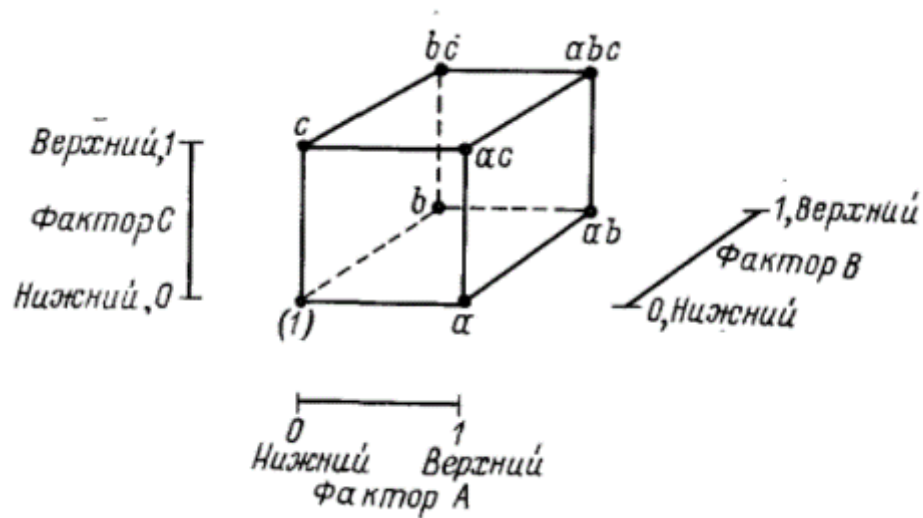


Рисунок 3.1 – Комбінації обробок в плані  $2^3$

За коефіцієнту контрастів можна побудувати таблицю алгебраїчних знаків. Знаки для головних ефектів визначаються так: плюс відповідає верхньому, а мінус – нижнього рівня фактору. Знаки в інших стовпцях можна знаходити, перемножуючи рядок за рядком знаки у відповідних попередніх стовпцях. Наприклад, знаки в стовпці АВ виходять перемножуванням знаків в кожному рядку стовпців А і В. З цієї таблиці легко побудувати контраст для будь-якого ефекту [41].

Всі данні показані в таблиці 3.2.

В таблиці 3.2 кілька цікавих властивостей:

- 1) У всіх стовбцях, крім стовбця 1, число знаків плюс і мінус збігається;
- 2) Сума знаків в будь-яких двох стовбцях дорівнює нулю;
- 3) Будь-який із стовбців не змінюється при множенні на стовбець 1, тому що 1 є тотожним елементом;
- 4) Добуток будь-яких двох стовбців збігається з одним з стовбців таблиці [41].

Таблиця 3.2 – Алгебраїчні знаки для обчислення ефектів в плані  $2^3$ 

Комбінація обробок	Факторний ефект							
	1	A	B	AB	C	AC	BC	ABC
(1)	+	-	-	+	-	+	+	-
a	+	+	-	-	-	-	+	+
b	+	-	+	-	-	+	-	+
ab	+	+	+	+	-	-	-	-
c	+	-	-	+	+	-	-	+
ac	+	+	-	-	+	+	-	-
bc	+	-	+	-	+	-	+	-
abc	+	+	+	+	+	+	+	+

Сума квадратів для ефектів знайти неважко, оскільки кожному ефекту співпадає контраст з одною степеню свободи. В плані  $2^3$  с n репліками сума квадратів для любого ефекту має вид формула (3.9) [41]:

$$SS = \frac{1}{8n} (\text{Контраст})^2 \quad (3.9)$$

Вихідні дані для планування експерименту наведені в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Вихідні дані

Радіус А	Межа міцності В			
	115		250	
	Коефіцієнт тертя С		Коефіцієнт тертя С	
	0,35	0,45	0,35	0,45
32	-3	-1	-1	1
	-1	0	0	1
	$-4=(1)$	$-1=c$	$-1=b$	$2=bc$
80	0	2	2	6
	1	1	3	5
	$1=a$	$3=ac$	$5=ab$	$11=abc$

Знайдемо середні ефекти за формулами за допомогою суми по комбінаціям обробок, які зазначені в таблиці 3.4:

Таблиця 3.4 – Середні ефекти

А	3
В	2,25
С	1,75
АВ	0,75
АС	0,25
ВС	0,50
АВС	0,50

Сума квадратів знаходимо за допомогою формули (3.9), які показані в таблиці 3.5 [41]:

Таблиця 3.5 – Дисперсійний аналіз даних за обсягом наповнення

Джерела мінливості	Сума квадратів	Ступінь свободи	Середній квадрат
Радіус А	36,00	1	36,00
Межа міцності В	20,25	1	20,25
Коефіцієнт тертя С	12,25	1	12,25
АВ	2,25	1	2,25
АС	0,25	1	0,25
ВС	1,00	1	1,00
АВС	1,00	1	1,00
Помилка	5,00	8	0,63
Сума	78,00	15	

Аналізуючи результати розрахунків, можна зробити висновок, що найбільший вплив на якість виробів відіграє радіус згинання.

### 3.2 Дослідження технології виготовлення крутовигнутого відводу

Актуальним науково-технічним завданням є зниження собівартості виробничих деталей та деталей трубопроводів при збереженні технічних характеристик кінцевого продукту. Одним із способів вирішення цієї проблеми є аналіз та вдосконалення існуючої технології, що використовується для виготовлення таких деталей та вузлів. Крутовигнутий відвод є найважливішою та відповідальною частиною сучасних трубопроводів, оскільки вони витримують великі навантаження і потребують регулярної заміни під час роботи трубопроводу [42].

Критичний аналіз технології виготовлення крутовигнутого відвода показує переваги та недоліки [43, 44]. Один з 23 перспективних методів виготовлення включає технологію проштовхування заготовки через філь'єру матриці з криволінійною віссю [45].

Для дослідження можливості впровадження цієї технології розроблено та виготовлено обладнання для формоутворення крутовигнутих відводів без використання наповнювачів, або жорсткої оправки. Створено тривимірну модель складної матриці, обрано розміри та матеріали обладнання [46].

На рисунках 3.2 – 3.5 зображена тривимірна модель складної матриці, правої та лівої половинок, готового виробу – крутовигнутого відводу.

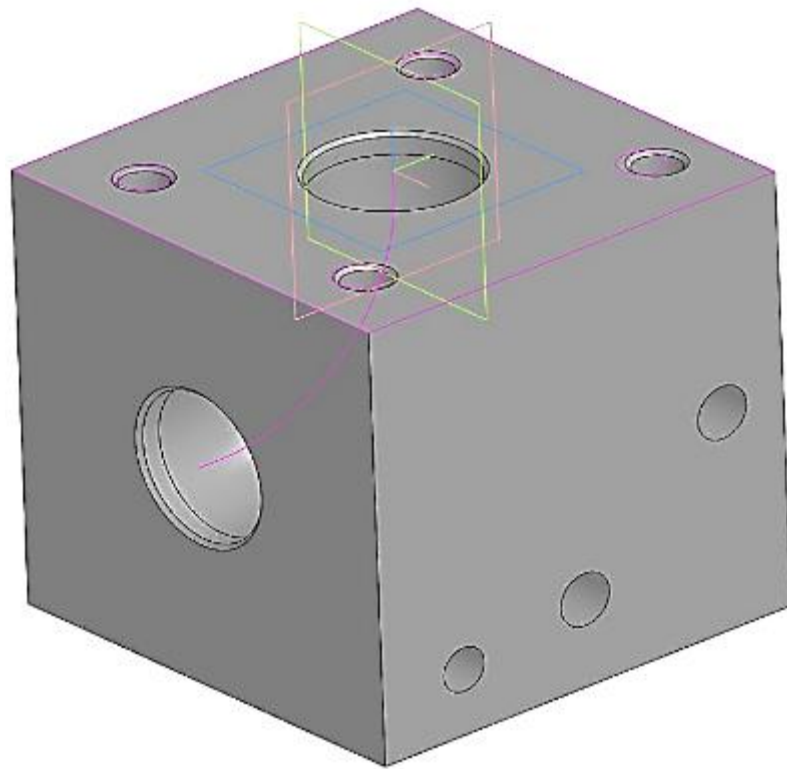


Рисунок 3.2 – Тривимірна модель складальної матриці

Технологія виготовлення крутовигнутого відводу складається з наступних операцій:

1. Вхідний контроль труб.
2. Розрізування труб на заготовки встановленої довжини.
3. Зачищення торців трубної заготовки.
4. Очищення трубної заготовки.
5. Нанесення змащувальних засобів.
6. Проштовхування через криволінійний отвір матриці без наповнювача, або оправок.
7. Відрізка торців крутовигнутого відводу.
8. Зачищення торців крутовигнутого відводу.
9. Очищення крутовигнутого відвода, вихідний контроль.
10. Вихідний контроль готового виробу.

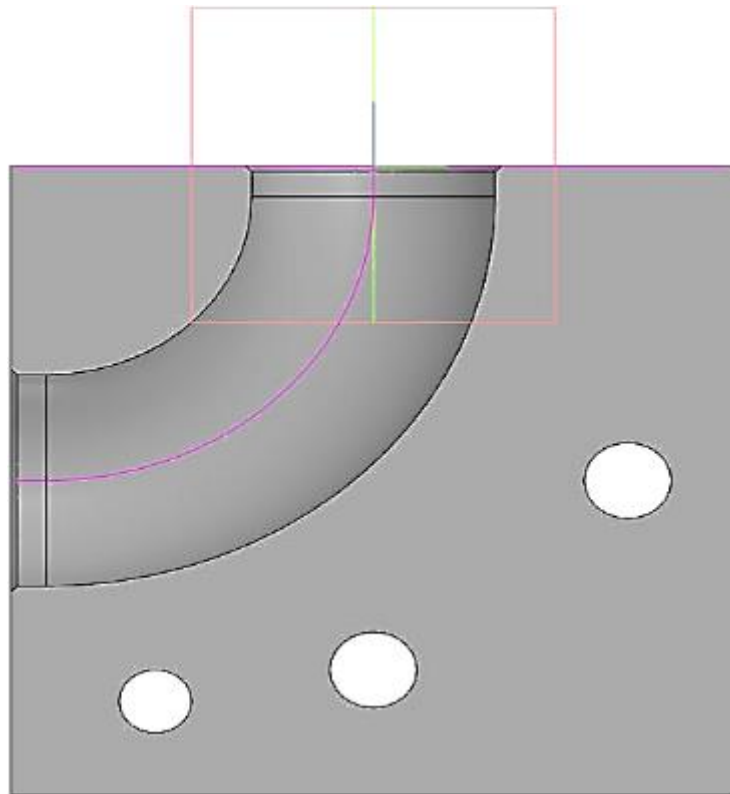


Рисунок 3.3 –Тримірна модель складної матриці правої половини

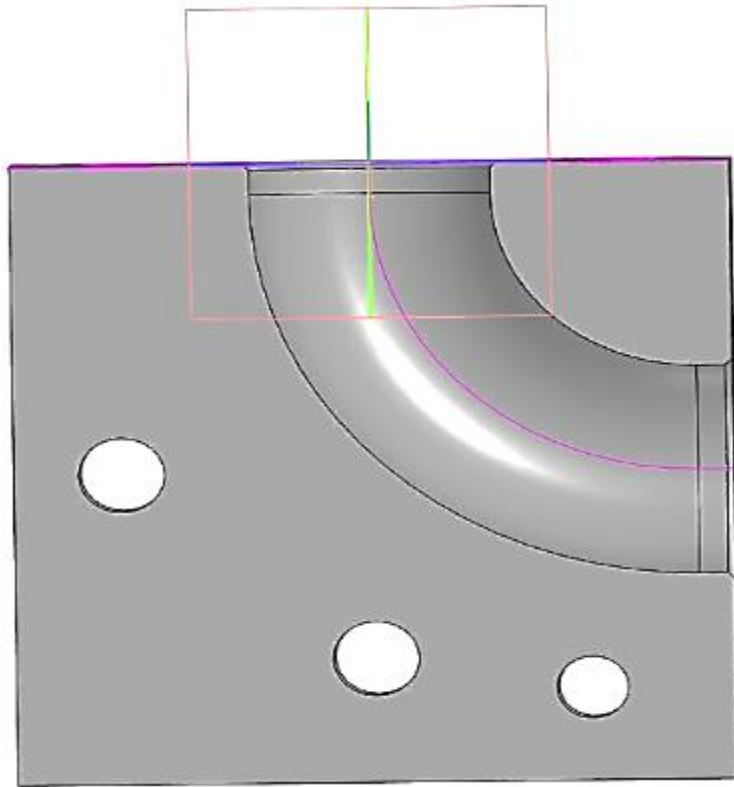


Рисунок 3.4 – Тримірна модель складної матриці лівої половини

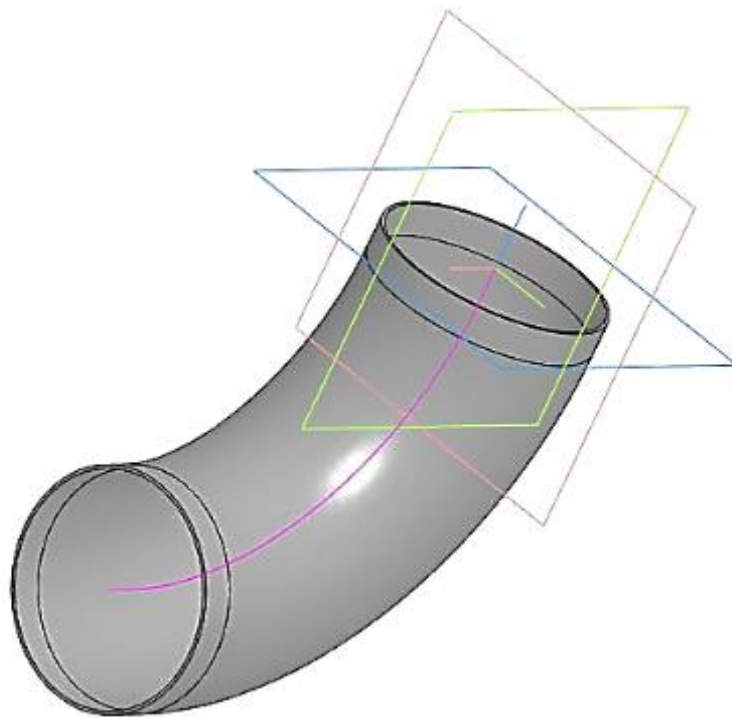


Рисунок 3.5 – Готова деталь крутовигнутого відводу

### 3.3 Експериментальне дослідження

Для експериментальних досліджень використовували зразки у вигляді трубної заготовки. На внутрішню та зовнішню поверхню заготовки наносили сітку розміром 6х6 мм для визначення сили потоку металу, напружено-деформованого стану та інших областей [42].

На рисунку 3.6 зображено трубна заготовок з нанесеною сіткою.



Рисунок 3.6 – Трубна заготовка з нанесеною сіткою

Для проведення досліджень використовувались трубні заготовки зі Ст.3, механічні властивості в стані поставки, розмірами  $\text{Ø}33,5 \times 2,5 \times 130$  мм; кут гнуття трубних заготовок  $\alpha = 90^\circ$ ; радіус гнуття:  $R = 2D$ ; інструмент – штамп для гнуття трубних заготовок; устаткування – гідравлічний прес ПГ-100А; метод гнуття – прошовхування через криволінійний отвір матриці у штампі [42]. Продемонструємо процес виготовлення крутовигнутого відводу за обраною технологією, у вигляді рисунків 3.7 – 3.9.



а



б

Рисунок 3.7 – Підготовка трубної заготовки (а) та налаштування обладнання (б)



Рисунок 3.8 – Процес проштовхування трубної заготовки на гідравлічному пресі ПГ-100А



а



б

Рисунок 3.9 – Закінчення процесу прошивування трубної заготовки (а)  
та готовий виріб в складальних матрицях (б)

### 3.4 Результати дослідження

Критичними зонами трубної заготовки в процесі виготовлення крутовигнутого відводу – є місце згину (зім'яття, гофроутворення, розрив) та краї готового виробу (овалізація, спотворення, розриви).

У ході проведення експериментальних досліджень отримано декілька зразків – неякісних виробів та виявлено наявність дефектів та проблем, які можуть виникати в процесі формоутворення крутовигнутих відводів. На рисунках 3.10 – 3.11 зображено готові вироби з дефектами: зім'яття трубної заготовки в середній частині вигину (рисунок 3.10) та розрив трубної заготовки на 2 частини в цій же середній частині по ходу нанесеної сітки та овалізація країв на виході (рисунок 3.11).

В процесі гнуття, в результаті докладання зусиль стиснення і розтягування, може спостерігатися зім'яття або розрив труби. Щоб цього не сталося потрібно в точності дотримуватися технології.

У випадку проведених експериментальних досліджень, це обумовлюється тим, що у місці контакту заготовки та криволінійного каналу складальної матриці при прошовуванні спостерігається виникнення стискаючих радіальних напружень, а в шарах стінок трубної заготовки, де контакту немає – поява розтягувальних напружень, рисунок 3.11. Таким чином, в радіальному напрямку метал по-черзі піддається стискаючим і розтягувальним напруженням [47].

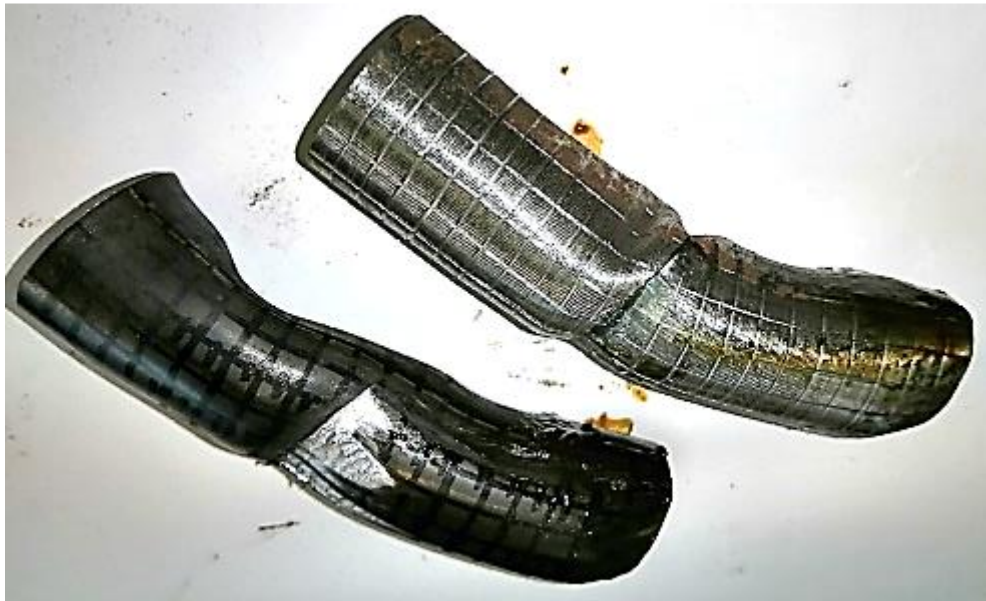


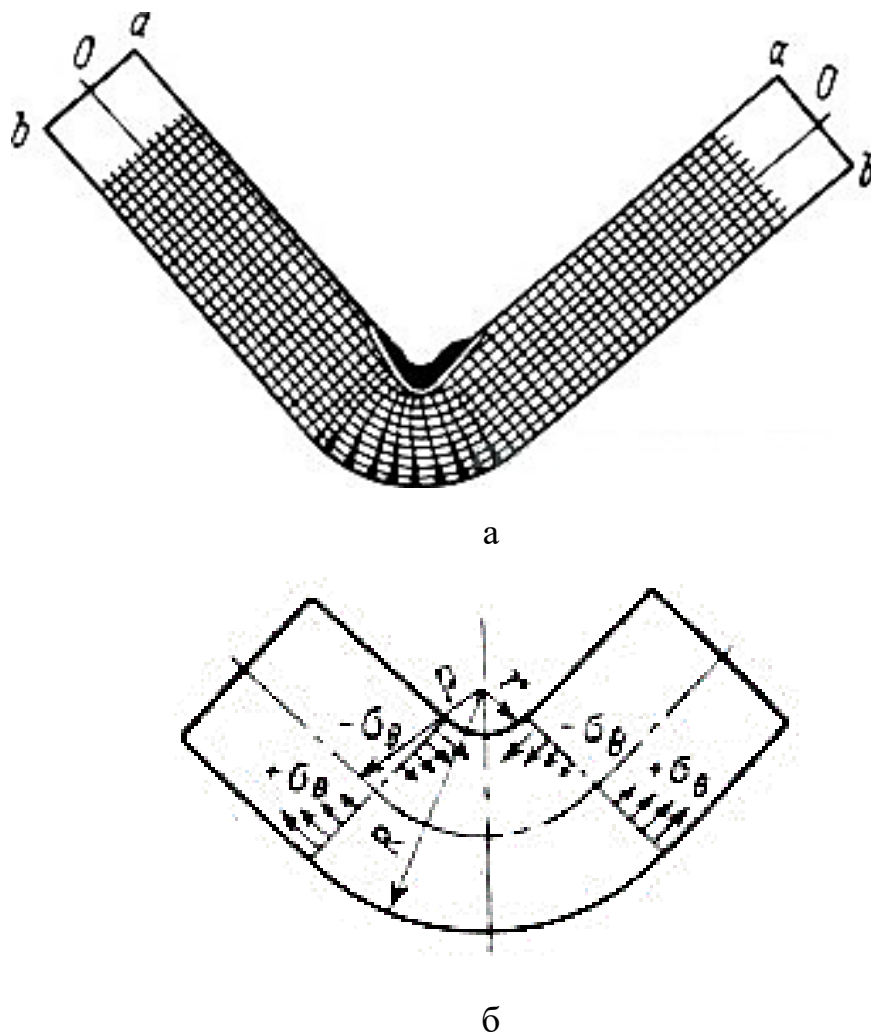
Рисунок 3.10 – Зім'яття трубної заготовки в середній частині вигину та овалізація країв на виході



Рисунок 3.11 – Розрив трубної заготовки на 2 частини в цій же середній частині по ходу нанесеної сітки та овалізації країв на виході

Згідно з [47] встановлено, що деформація трубної заготовки відбувається поблизу кута гнуття – осередку деформації, як видно на рисунку 3.12, а. У внутрішній поверхні трубної заготовки *aa* відбувається стиснення у поздовжньому напрямку та розтягнення в поперечному. У шарах *bb* на

зовнішній поверхні навпаки – розтягнення в поздовжньому напрямку та стиснення в поперечному. Між розтягнутими і стиснутими шарами знаходиться нейтральний шар  $00$ , що не змінюється по довжині, що не змінюється по довжині, положення якого визначається радіусом кривизни  $R$  (рисунок 3.12, б).



aa - внутрішня поверхня трубної заготовки; bb - зовнішня поверхня трубної заготовки; 00 - нейтральний шар

Рисунок 3.12 – Розподіл деформації металу при гнутті трубної заготовки

Спостерігаємо нерівномірність напружено-деформованого стану трубної заготовки, яка пояснюється самим механізмом деформування у процесі проштовхування.

Це призводить до того, в процесі деформування одні ділянки трубної заготовки напружені слабо, а інші дуже сильно, і в них з'являється небезпека руйнування – небезпечні зони. Обмеження можливостей технологічного процесу виготовлення крутовигнутого відводу характеризується міцністю цих небезпечних зон і перерізів на розрив або їх опором втраті стійкості стінок труби.

Зважаючи на отриманий результат можна зробити висновок, що для запобігання виникнення небезпечних зон необхідно провести ряд заходів по зменшенню контактного тертя, поліпшити конструкцію робочих елементів штамп: складальної матриці та пуансону, обрати оптимальні режими процесу формоутворення, матеріал та оптимальну форму трубної заготовки. Це посприє розвантаженню небезпечних зон і перерізу розриву. А, отже, підвищить ступінь деформації металу, яку можна буде досягти за одну операцію.

### **3.5 Висновки**

В третьому розділі магістерської роботи розглянуто результати експерименту. Деформація трубних заготовок при проштовхуванні через з криволінійною віссю. При проведенні експерименту використовувався гідравлічний прес ПГ-100А. Для оцінки деформації був використаний Метод ділильних сіток.

У ході проведення експериментальних досліджень отримано декілька зразків – неякісних виробів та виявлено наявність дефектів та проблем, які можуть виникати в процесі формоутворення крутовигнутих відводів. Було

виявлено, що критичними зонами трубної заготовки в процесі виготовлення крутовигнутого відводу – є місце згину (зім'яття, гофроутворення, розрив) та краї готового виробу (овалізація, спотворення, розриви).

Отже, можна зробити висновок, що для запобігання виникнення небезпечних зон необхідно провести ряд заходів по зменшенню контактного тертя, поліпшити конструкцію робочих елементів штамп: складальної матриці та пуансону, обрати оптимальні режими процесу формоутворення, матеріал та оптимальну форму трубної заготовки. Це посприє розвантаженню небезпечних зон і перерізу розриву.

При проведенні експериментального дослідження були витримані всі заходи безпеки для технології прошовування через отвір складальної матриці з криволінійною віссю без наповнювачів.

## 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

В розділі надані основні заходи з охорони праці при дослідженні особливостей процесу виготовлення трубопроводів холодним деформуванням.

### 4.1 Аналіз потенційних небезпек

а) Небезпеки, які пов'язані з порушенням роботодавцями вимог НПАОП 0.00-7.11-12 „Загальні вимоги стосовно забезпечення роботодавцями охорони праці працівників” [47] а саме належного облаштування робочих місць і виробничих, санітарно-побутових та інших приміщень на підприємстві, в установі, організації безпечного використання працівниками засобів праці, забезпечення навчання працівників і залучення їх до вирішення питань охорони праці, належного облаштування шляхів евакуації і аварійних виходів.

б) Можливість ураження електричним струмом внаслідок несправності електроспоживачів, відсутність засобів захисту або порушення цілісності ізоляції кабелів.

в) Можливість отримати механічних травм при підготовці дослідних заготовок для відпрацювання технологічного процесу виготовлення трубопроводів, а саме:

- несправність формозмінюючого обладнання;
- відсутність сигналізуючих та блокуючих запобіжників;
- відсутність групових та індивідуальних засобів захисту.

г) Небезпеки, які пов'язані з визначенням механічних властивостей отриманих дослідницьких виробів

д) Небезпеки, які пов'язані з обробкою результатів на персональному комп'ютері, а саме вплив електромагнітного випромінювання, видимого випромінювання (інфрачервоного), перенапруження зорової системи, вплив електростатичного поля, статичного і динамічного перенапруження у працюючого.

е) Невідповідність вимогам ДБН В.2.5-28-2006 „Інженерне обладнання будинків і споруд. Природне і штучне освітлення” [48] що призводить до зниження працездатності та псування зору.

є) Небезпеки, які притаманні умовам праці в надзвичайних ситуаціях.

#### **4.2 Заходи забезпечення безпеки**

а) Згідно вимог НПАОП 0.00-7.11-12 „Загальні вимоги стосовно забезпечення роботодавцями охорони праці працівників” [49] передбачено: роботодавцем повинні бути створені безпечні умови праці для працівника, при цьому необхідно дотримуватись таких основних принципів запобігання небезпекам [48]:

- виключення небезпек, якщо це є можливим і реальним та обмеження впливу небезпек, котрих уникнути не можливо;
- усунення небезпек у їх першоджерелах та обмеження їх впливу на організм людини, що працює в зону ураження.
- забезпечення колективних та індивідуальних засобів захисту.

Протягом періоду трудового та професійного навчання підготовка та перевірка знань з охорони праці працівників та студентів, курсантів, слухачів, та учнів навчальних закладів здійснюється відповідно до стандартів та положень про процедури підготовки та перевірки знань з охорони праці затвердженого наказом Держнаглядохоронпраці від 26.01.2005 № 15, зареєстрованого в Міністерстві юстиції України 15.02.2005 за № 231/10511.

Влаштуваючи робоче місце, роботодавець повинен спиратися на основні вимоги: структура і міцність будівлі, в якій розміщується робоче місце, повинна відповідати своєму призначенню, особливо для забезпечення [49]:

- нормальний робочий стан обладнання та захисних пристроїв у робочій зоні, створення сприятливих умов для усунення виявлених несправностей, які можуть мати негативний вплив на безпеку та здоров'я працівників;
- функції захисного обладнання та пристроїв, призначених для запобігання або усунення небезпек, можна регулярно контролювати та перевіряти;
- потрібно регулярно очіщувати робочу зону та обладнання, особливо в приміщенні, для забезпечення належної гігієни.

Маршрути евакуації, аварійні виходи, що ведуть до них, повинні бути вільними від будь-яких предметів, забезпечувати найменшу відстань до зовнішнього простору або безпечної зони та мати відповідне маркування (кольори маркування, знаки, написи, знаки безпеки тощо) відповідно до технічних регламентів знаків ) Безпека та охорона здоров'я працівників, затверджені постановою Кабінету Міністрів України від 25.11.2009 № 1262 [48].

Маршрути евакуації та аварійні виходи повинні забезпечувати евакуаційне освітлення відповідно до вимог будівельних норм та правил електромонтажу. Коли персонал перебуває в приміщенні, евакуаційні вогні повинні вмикатись у сутінках. Надайте працівникам можливість швидко та безпечно залишити всі робочі місця [49].

б) Для виключення можливості ураження електричним струмом передбачено:

- проходження інструктажу з охорони праці
- все обладнання повинно бути заземлено. Щільність заземлення та контакти електричних з'єднань повинна щоденно перевірятись та

ремонтуватись не рідше 2 разів на рік згідно НПАОП 40.1-1.01-97,, Правила безпечної експлуатації електроустановок'' [51].

- потрібно вжити заходи для ізоляції струмоведаччих частин шляхом використання огорож та кожухів для запобігання прямого контакту. Як правило, ці заходи можуть застосовуватися до всіх електричних приладів та їх частин незалежно від зовнішніх умов. У деяких спеціальних електроустановках для роз'яснення вимог цих захисних заходів можуть бути використані правила, що стосуються цих електроустановок.

Ізоляція струмоведаччих частин електричного обладнання повинна відповідати стандартам або специфікаціям електричного обладнання, але не повинна бути нижчою за IP44.

Автоматичне відключення призначене для запобігання патолофізіологічним ефектам, спричиненим наявністю певного діапазону контактної напруги та тривалістю дії на організм людини при пошкодженні шару ізоляції в електрообладнанні [48].

в) Основними вимогами забезпечення безпеки при виготовленні виробів на ділянках стану є: відносно безпеки виконавців обов'язковим є використання індивідуальних засобів захисту: окуляри (ГОСТ 12.4.013-85), спецодяг (ГОСТ 12.4.049-78) та спецвзуття (ГОСТ 28507-99).

г) Для автоматичної зупинки роботи пресу у разі відхилення від нормального режиму (заклинювання пуансону, потрапляння в зону штампування сторонніх об'єктів, подвійний удар) передбачені запобіжні пристрої. До таких пристроїв належать [48]:

- обмежувачі ходу, упори, кінцеві вимикачі, гальмівні пристрої;
- елементи конструкції обладнання типу «слабка ланка», зокрема, зрізні штифти, шпонки, фрікційні муфти, плавкі запобіжники;
- блокуючі пристрої, які можуть бути механічними, електромеханічними, фотоелектричними;
- сигналізуючі пристрої, які надають інформацію про виконання процесу або у разі прояву відхилень вказують на місце їх прояву.

Зазвичай такі пристрої є частиною ланцюга схеми управління пристроєм. Одне з найпоширеніших порушень - одночасне розміщення двох заготовок у матриці. Це спроба відрегулювати положення заготовок у матриці під час опускання пуансона, що полягає у ручному блокуванні запобіжного пристрою. Профілактичні заходи можуть включати постійний нагляд профспілкових лідерів та представників та сприяння неухильному дотриманню правил охорони праці [48].

Заходами захисту мають бути використання індивідуальних засобів захисту:

- спеціальний одяг
- спеціальне взуття
- спеціальні рукавиці
- окуляри захисні
- щитки на головні.

При виконанні операцій холодної деформації передбачте такі захисні заходи: Відповідно до ДСТУ 32.73-95 "Безпека промислових підприємств", холодна деформація металевих матеріалів. Загальні правила та вимоги до робіт з високим ризиком "[52]. Перш ніж приступити до роботи, персонал повинен належним чином підготувати робочі зони та робочі місця. Розміщення матеріалів, контейнерів із заготовками, деталей та відходів повинно полегшити їх рух по технологічному ланцюжку. Місце штампувальника має бути повністю освітленим, щоб постійно контролювати процес. Якщо при управлінні штампувальник може працювати сидячи, робоче місце згідно ГОСТ 12.2.049-80 «ССБТ. Оборудование производственное. Общие эргономические требования» [53] потрібно забезпечити зручним сидінням і підставкою для ніг,[48,53].

Біля технологічного обладнання мають бути спеціальні пристрої для зберігання інструменту.

Робоча зона огорожується суцільними металевими щитами для попередження розльоту часток металу.

Ручний інструмент повинен відповідати наступним вимогам:

- рукоятки допоміжного інструменту виготовляються з твердої деревини, мають бути прямими, овальної форми у перерізі.
- вимірювальний інструмент і шаблони повинні мати таку форму та розміри, що запобігають внесенню рук виконавця в робочу зону при попередньому вимірюванні розмірів деталі.

Перш ніж вимкнути прес, перевірте ефективність системи управління, регулювання запобіжного пристрою, особливо наявність та надійність захисного кожуха та кріплення обертових або рухомих частин технічного обладнання, чи є масло у фрикційному блоці [48].

Для того, щоб зменшити або усунути можливий вплив небезпечних або шкідливих виробничих факторів на організм людини в робочій зоні обладнання (машини, вироби, обладнання), необхідно передбачити:

- засоби запобігання або зменшення впливу небезпечних та шкідливих виробничих факторів на робітників.
- засоби колективного захисту, пов'язані зі структурою та функціями виробничого обладнання, виробничого процесу, виробничого приміщення (будівлі) або виробничого майданчика.
- індивідуальний захист - це захисту, який носять на тілі або частинах людського тіла.
- знаки безпеки, призначені попереджати людей про можливі небезпеки, забороняти або вживати певні дій та інформувати місцезнаходження предметів. Їх використання пов'язане з усуненням або зменшенням небезпечних або шкідливих виробничих факторів.
- кольори безпеки - це кольори певних елементів виробничого обладнання та будівельних конструкцій, призначені для привернення уваги людей, які можуть бути джерелами небезпечних та шкідливих виробничих факторів, вогнегасниками та знаками безпеки. [48].

г) Щоб уникнути пошкодження та травмування під час статичних випробувань механічних властивостей матеріалу, слід дотримуватися таких вимог: випробування зразків слід проводити відповідно до встановлених процедур. Покладіть зразок на полицю лише для досягнення бажаної мети. Не торкайтесь навантажувального обладнання та зразка вантажем, щоб уникнути травм, коли зразок зламається. Перед увімкненням машини переконайтеся, що тест-машина та панель управління заземлені. Якщо зразок вислизає з вкладиша, не дозволяється проводити випробування на розтягнення на зразку [48].

При випробуванні не дозволяється використовувати деформовані затискні щипці для випробування зразка. Кінець зразка випробувального стиску не повинен виходити за межі зовнішньої окружності кронштейна, щоб притулитися до машини, підтримайте зразок. Навантаження під час випробування на вигин не повинно перевищувати 30 т/с.

д) Щоб зменшити негативний вплив виробничих факторів, пов'язаних з роботою за комп'ютером, на здоров'я працівників, необхідно раціонально організувати методи праці та регулювати періоди відпочинку [48].

За характером трудової діяльності виділено 3 професійні групи (таблиця 4.1), згідно з діючим класифікатором професій (ДК-003-95 і Зміна N 1 до ДК003-95) [48,54]: група А – робота зі зчитування інформації з екрана з попереднім запитом; група Б – робота з введення інформації; група В – творча робота в режимі діалогу із ПК.

Таблиця 4.1 – Види категорій трудової діяльності з ПК

Категорія роботи по тяжкості й напруженості	Рівень навантаження за робочу зміну при видах роботи на ПК		
	Група А, кількість знаків	Група Б, кількість знаків	Група В, час роботи, год.
I	до 20000	до 15000	до 2,0
II	до 40000	до 30000	до 4,0
III	до 60000	до 40000	до 6,0

Ситуації, коли обставини не дозволяють застосовувати запропоновані перерви, тривалість роботи з монітором не повинна перевищувати 4 години [48,54].

Монітор повинен бути прямим і становити 90 градусів. В приміщенні кабінету і на робочому місці необхідно підтримувати чистоту і порядок. Освітлення повинно бути змішаним, природним та штучним. [48,54].

Зволожувачі повітря повинні бути для підвищення вологості повітря в приміщенні для роботи з персональним комп'ютером [48,54].

### 4.3 Заходи забезпечення виробничої санітарії та гігієни праці

Освітлення робочого місця нормується згідно з Державними будівельними нормами України: ДБН В.2.5-28-2006 Інженерне обладнання будинків і споруд. Природне і штучне освітлення [48,50].

Мінімальна освітленість встановлюється в залежності від розряду виконуваних зорових робіт. Для IV розряду зорових робіт вона складає 300...500 лк. Перевіряємо освітленість робочого місця користувача ПК на відповідність розряду зорової роботи. За даними вимірювань рівень природної

освітленості поверхні, де розташований ПК, складає 200 лк за освітленості тієї же поверхні під відкритим небосхилом в 20000 лк, тобто КПО = 1%, що не відповідає нормативному КПО [48,50].

Люмінесцентні лампи застосовуються для штучного освітлення в приміщеннях. Розрахунок штучного освітлення буде проведено для приміщення площею 20 м<sup>2</sup>, шириною в 5 метрів, довжиною в 4 метри і висотою в 3 метри. Використовуємо метод світлового потоку. Щоб визначити кількість ламп, необхідних для забезпечення стандартних рівнів освітлення, використовуємо наступну формулу для визначення світлового потоку, що падає на робочу поверхню [48,50]:

$$F = \frac{E * K * S * Z}{\eta}, \text{ де} \quad (4.1)$$

F – світловий потік, що розраховується, Лм;

E – нормована мінімальна освітленість, Лк; E = 300 Лк;

S – площа освітлюваного приміщення (у нашому випадку S=20м<sup>2</sup>);

Z – відношення середньої освітленості до мінімальної (зазвичай приймається рівним 1,1... 1,2, в нашому випадку Z =1,1);

K – коефіцієнт запасу, що враховує зменшення світлового потоку лампи в результаті забруднення світильників в процесі експлуатації (його значення залежить від типу приміщення і характеру робіт, що проводяться в ньому, в нашому випадку K = 1,5);

$\eta$  – коефіцієнт використання світлового потоку, (виражається відношенням світлового потоку, що падає на розрахункову поверхню, до сумарного потоку всіх ламп, і обчислюється в долях одиниці; залежить від характеристик світильника, розмірів приміщення, забарвлення стін і стелі, що

характеризуються коефіцієнтами відбиття від стін ( $\rho_{ст.}$ ) і стелі ( $\rho_{стелі}$ ), значення коефіцієнтів дорівнюють  $\rho_{ст.} = 40\%$  і  $\rho_{стелі} = 60\%$  [48,50].

Обчислимо індекс приміщення за формулою:

$$I = \frac{S}{h(A+B)}, \text{ де} \quad (4.2)$$

$S$  – площа приміщення,  $S = 20\text{м}^2$ ;  $h$  – розрахункова висота підвісу,  $h = 2,9$  м;  $A$  – ширина приміщення,  $A = 4$  м;  $B$  – довжина приміщення,  $B = 5$  м.

Підставивши значення отримаємо:

$$I = \frac{20}{2,9(4+5)} = 0,77 \quad (4.3)$$

Знаючи індекс приміщення  $I$ , за таблицею 4 [ДБН В.2.5-28-2006] знаходимо  $\eta = 0,22$ .

Підставимо всі значення у формулу для визначення світлового потоку  $F$ :

$$F = \frac{300 * 1,5 * 20 * 1,1}{0,22} = 45000 \text{ Лм} \quad (4.4)$$

Для освітлення використані люмінесцентні лампи типу ЛБ 40-1, світловий потік яких  $F = 4320$  Лм. Розрахуємо необхідну кількість ламп у світильниках за формулою:

$$N = \frac{F}{F_{\text{л}}}, \text{ де} \quad (4.5)$$

$N$  – кількість ламп, що визначається;  $F$  - світловий потік,  $F = 45000$  Лм;  
 $F_{\text{л}}$ - світловий потік лампи,  $F_{\text{л}} = 4320$  Лм

$$N = \frac{45000}{4320} = 11 \quad (4.6)$$

В приміщенні використовуються світильники типу ОД. Кожен світильник комплектується двома лампами. Тобто необхідно використовувати 6 світильників із 12 працюючими лампами в них. Схема розташування світильників зображена на рисунку 4.1 [48,50].

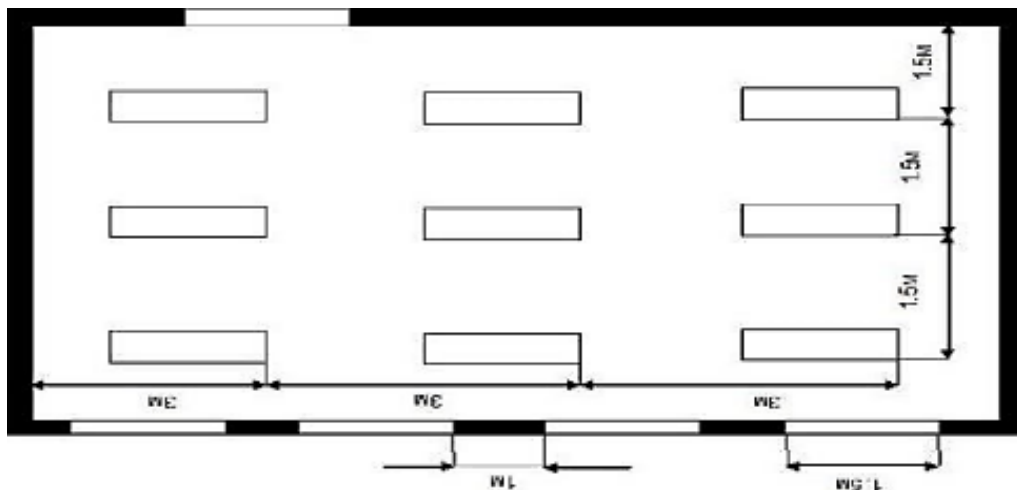


Рисунок 4.1 – Схема розташування світильників

## **4.4 Заходи забезпечення безпеки у разі виникнення надзвичайних ситуацій**

### **4.4.1 Заходи з пожежної безпеки**

Пожежна безпека є частиною комплексних заходів з охорони праці. Організація об'єктів у цій галузі включає широкий спектр заходів, а саме: створення умов для безпечної роботи, мінімізація пожежних ризиків та забезпечення своєчасних та адекватних технічних засобів для запобігання пожеж. Ліквідувати пожежі та їх наслідки, дотримуватись вимог та законів про пожежну безпеку, розробляти та впроваджувати правила евакуації та порятунку пожеж та куріння, а також проводити внутрішні та зовнішні тренінги для працівників [48,55].

Пожежні заходи безпеки в приміщеннях мають наступні форми. Лише за наявності проектної документації можливе будь-яке перепланування та зміни функціонального призначення ділянки, які пройшли попередній перегляд відповідних норм відповідальності за пожежну безпеку та досягли позитивних результатів в державному пожежному нагляді. В усіх приміщеннях, призначення яких невідоме або закрите після роботи, і не контролюється штатним персоналом, все електрообладнання та прилади та напруга, їх мережі електроживлення повинні бути відключені (крім аварійного освітлення, пожежних та охоронних споруд). Працюйте цілодобово відповідно до технічних вимог. Маршрути евакуації без природного світла повинні часто освітлюватися електричними ліхтарями у присутності людей. Приміщення хімічної лабораторії за пожежною небезпекою відповідно до НАПБ Б.03.002-2007 належать до категорії "В", за НПАОП 40.1-1.32-1 (ПБЕ) – до зони класу П-І [48,55].

Легкозаймісті й горючі рідини (ЛЗР і ГР) належить зберігати в цеху чітко за асортиментом у металевих ящиках та шафах. Кожну речовину слід приймати в кількості, не більшій за змінну потребу. Не допускається спільне зберігання речовин, хімічна взаємодія яких може призвести до пожежі або

вибуху. Порядок спільного зберігання речовин та матеріалів визначають згідно з вимогами додатка 3 до НАПБ А.01.001-2014 Правила пожежної безпеки в Україні [48,56].

Якщо в приміщенні пахне газом, слід: негайно вимкнути газовий пальник та електроприлади; перевірте, чи всі крани газових пальників та газових приладів закриті; негайно повідомте відповідального за газопостачання, щоб він провітрив це місце. Забороняється застосовувати вогненебезпечні прилади. Негайно виявити причину витік газу в газопроводах та обладнанні, а також усунути витік газу [48,56].

Завжди повинні бути евакуаційні шляхи та виходи з приміщення. Завідувач приміщення наприкінці робочого дня зобов'язаний особисто пересвідчитись у пожежобезпечності приміщення, вимкнути всі електроприлади та зачинити вхідні двері на замок [48,56].

#### **4.4.2 Організація управління персоналом під час надзвичайної ситуації**

Під час надзвичайної ситуації або пожежі кожен працівник зобов'язаний негайно повідомити службу порятунку за телефоном-101 (112). Обов'язково має бути вказана адреса об'єкта із зазначенням поверховості будівлі, місця виникнення пожежі, пожежної обстановки, присутності персоналу та вказівки вашого імені; вжити (по можливості) заходів щодо евакуації людей та захисту майна; вжити (якщо можливо). Вжити заходи для ліквідації пожежі (місця знаходження); якщо вам потрібно викликати інші аварійні рятувальні служби, надати допоміжні послуги (102-міліція, 103-медична, 104-газова аварійно-рятувальна тощо); повідомити відповідального за відділ. Відповідальний за підрозділ або відповідальний за об'єкт, який прибув на місце надзвичайної ситуації, повинен: перевірити, чи викликається пожежно-рятувальний

підрозділ (повторне повідомлення), у разі загрози життю негайно організувати порятунок (евакуацію). Виведіть весь персонал за межі небезпечної зони та припиніть роботи в будівлі (якщо це дозволяє виробничий процес), за винятком робіт, пов'язаних із протипожежними заходами. При необхідності вимкніть електропостачання (крім протипожежної системи), зупиніть транспортне обладнання, установки, обладнання, вимкніть системи постачання газу та води, зупиніть вентиляційну систему (крім протизадимного обладнання) у відділенні швидкої допомоги та суміжних приміщеннях. Виконайте інші операції, що до протипожежних заходів [48,56].

Перевірте, чи включена пожежна сигналізація та системи захисту від диму. Організуйте зустріч для пожежно-рятувальних підрозділів, щоб допомогти їм у виборі найкращого способу для під'їзду до ділянок пожежі та встановленні джерел води. Одночасно з гасінням пожежі організувати евакуацію і захист матеріальних цінностей, забезпечити дотримання техніки безпеки працівниками, які беруть участь в гасінні пожежі. Після прибуття до місця пожежі підрозділу пожежогасіння та рятування, повинні бути забезпечений вільний доступ к територіями та безперешкодним проходам до будівель. Після прибуття пожежно-рятувальних підрозділів адміністрація та технічний персонал підрозділу, будівлі чи споруди зобов'язані брати участь у консультуванні керівника гасіння про конструктивні і технологічні особливості об'єкта, де виникла пожежа, прилеглих будівель та пристроїв, організувати залучення до вжиття необхідних заходів пов'язаних із ліквідацією пожежі та попередженням її розвитку, сил та засобів об'єкта [48,56].

## 4.5 Висновки

Під час написання розділу охорона праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях були визначені потенційні небезпеки технології виготовлення крутовигнутих відводів у місці дослідження.

Були розроблені заходи по забезпеченню безпеки технології прошовхування через отвір складальної матриці з криволінійною віссю без наповнювачів. Запропонований комплекс технологічних заходів, який пов'язаний з принципово новою технологією виготовлення крутовигнутих відводів, за якою в значній мірі мінімізуються зазначені небезпеки.

Також розглянуті гігієна виробництва та санітарні вимоги праці, пожежна безпека та порядок дій персоналу в умовах надзвичайних ситуацій.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Детали трубопровода [Электронный ресурс]: Режим доступа: <https://cutt.ly/vhmWOFH>
2. Отводы стальные ГОСТ 17375 [Электронный ресурс]: Режим доступа: <https://metallobaza.dp.ua/stati/53-otvody-stalnye-gost-17375>
3. Боровков В. М. Изготовление и монтаж технологических трубопроводов. [Текст] / В. М. Боровков, А. А. Калюкин. – Москва. Издательский центр «Академия» 2007. – 240с
4. Анурьев В. И. Справочник конструктора машиностроителя в 3-х томах. [Текст] / В. И. Анурьев. Т. 3. – 9-е изд., перераб. и доп./ под ред. И. Н. Жестковой. – М.: Машиностроение, 2006. – 928с.
5. Отводы стальные крутоизогнутые типа 3D (R=1,5 Dn) ГОСТ 17375-2001 [Электронный ресурс]: Режим доступа: <https://www.tpsantex.com.ua/productsiya/otvody-kruttoizognutye-tipa-3d-r-1-5-dn>
6. Тавастшерна Р. И. Изготовление и монтаж технологических трубопроводов [Текст] / Р. И. Тавастшерна: Учебник для техникумов – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1986. – 286с., ил.
7. Эксплуатация и обслуживание [Текст]: науч. журн. / Изд. «Мотор Сич». 2008. – 21с.
8. ГОСТ 17375-2001 Международный стандарт отводы крутоизогнутые типа 3D (R=1,5DN) [Текст] – Взамен ГОСТ 17375–83; введ. 01.01.2003. Минск : Межгос. совет по стандартизации, метрологии и сертификации; М. : Межгосударственным советом по стандартизации, метрологии и сертификации (протокол N 20) от 1 ноября 2001 г.
9. Тепловые сети, наружные газопроводы, автомобильные дороги и благоустройство [Электронный ресурс]: Режим доступа: <https://files.stroyinf.ru/Data1/11/11497/index.htm>

10. Николаевский Е. Я. Справочник по специальным работам [Текст] / Е. Я. Николаевский // Технологические трубопроводы промышленных предприятий. – С. 102

11. Николаевский Е. Я. Справочник по специальным работам [Текст] / Е. Я. Николаевский // Технологические трубопроводы промышленных предприятий, – С.103-105

12. Николаевский Е. Я. Справочник по специальным работам [Текст] / Е. Я. Николаевский // Технологические трубопроводы промышленных предприятий. – С. 104

13. Агбалян Г. С «Технологический процесс изготовления крутоизогнутых отводов непрерывной протяжкой трубных заготовок по рогообразному сердечнику» [Текст]: Г. С Агбалян.

14. Успасский А. В. Разработка технологии и освоения производства медных отводов в условиях предприятия «Метапром» [Текст]: дипломная работа: Успасский, Андрей Владимирович. – Разработка технологии и освоение производства медных отводов в условиях предприятия «Метапром»: бакалаврская работа: 150201.65 / А. В. Успасский; Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Институт металлургии, машиностроения и транспорта ;

15. Тавастшерна Р. И. Изготовление и монтаж технологических трубопроводов. [Текст] / Р. И. Тавастшерна учеб. пособие для проф. техн. училищ индивидуального и бригадного обучения, рабочих на производстве. М.: «Высшая школа» 1967. – 287с., ил.

16. Лукьянов В. П. Штамповка, гибка деталей для сварных сосудов, аппаратов и котлов. [Текст] / В. П. Лукьянов, И. И. Маткова, В. А. Бойко. Штамповка – М.: Машиностроение, 2003. – 512с.

17. Хартман К Планирование эксперимента в исследовании технологических процессов [Текст] / К. Хартман: Издательство «Мир», Москва, 1977.

18. Антикайн П.А. Справочник Изготовление Объектов Котлонадзора [Текст] / П. А. Антикайн, А. К. Быков. – 1980г. С 153 -158
19. Гальперин А. И. Гнутье труб. Гос. издательство литературы по строительству [Текст] / А. И. Гальперин. – Москва 1958, 113с.
20. С. Б. Сидельников. Основы технологических процессов обработки металлов давления. [Текст] / С. Б. Сидельников, Р. И. Галиев, Д. Ю. Горбунов, Е. С. Лопатина, А. С. Пещанский конспект лекций. Красноярск ИПК СФУ 2008. – 95с.
21. Гнутье труб в холодном состоянии [Электронный ресурс]: Режим доступа: <http://shkval-antikor.ru/mess629.htm>
22. Отводы холодного гнутья [Электронный ресурс]: Режим доступа: <http://ngsrb.com/produkcziya-oxg/>
23. Антикайн П. А. Изготовление и ремонт объектов котлонадзора: Справочник [Текст] / П. А. Антикайн, А. К. Зыков, Б. В. Зверьков. - Москва: Металлургия, 1988.
24. Мосин Ф. В. Государственное научно-техническое издательство машиностроительной литературы [Текст] / Ф. В. Мосин // Технология Изготовления деталей из труб 1962г, С. – 97.
25. Мосин Ф. В. Государственное научно-техническое издательство машиностроительной литературы [Текст] / Ф. В. Мосин // Технология Изготовления деталей из труб 1962г, С.– 98-99.
26. Новая технология формирования крутоизогнутых отводов (DIN 2605, вариант 3) методом холодного пластического деформирования [Электронный ресурс]: Режим доступа: <http://www.alcon.com.ua/site/tools/russ/otvod.html>
27. Филиппов В. В. Технологические трубопроводы и трубопроводная арматура [Текст] В. В. Филиппов. – уч. пособие 65с.
28. Сталь Ст3сп [Электронный ресурс]: Режим доступа: <http://tekhnar.ru/materialy/st3sp.html>

29. Сталь марки Ст3: характеристики, применение [Электронный ресурс]: Режим доступа: <https://spb-stal.ru/stati/stal-marki-st3-kharakteristiki-primenenie/>
30. Сталь Х12М характеристики применение [Электронный ресурс]: Режим доступа: <https://varimtutru.com/stal-h12m-kharakteristiki-primenenie/>
31. Пресс гидравлический ПГ-100А [Текст] / Руководство по монтажу и эксплуатации.
32. Пресс гидравлический П481А [Текст] / Руководство с описанием и электросхемами: Оренбургский завод "Металлист". – 1966г.
33. Станки для резки труб: виды и особенности [Электронный ресурс]: Режим доступа: <https://remontenergo.ru/stati/2764-Stanki-dlya-rezki-trub-vidy-i-osobennosti/>
34. Коммиссаров В. И. Общий курс слесарного дела [Текст] / В. И. Коммиссаров, М. В. Коммиссаров – издание 6-е. 1969г. – С. 73-74
35. Прибор ТК-2М [Текст] / редактор Д. И. Мотылев: Центральное бюро технических информаций, Иваново – 1961г.
36. Твердомер для металлов ТК-2 [Электронный ресурс]: Режим доступа: <http://standart-m.com.ua/izmeritelnye-pribory/tverdomery/tverdomer-dlyametallov-tk-2>
37. Обзор токарного станка А62 [Электронный ресурс]: Режим доступа: <https://promzn.ru/stanki-i-oborudovanie/tokarnyj-standok-1a62.html>
38. Лабораторные муфельные печи: характеристики, разновидности и принципы установки [Электронный ресурс]: Режим доступа: <http://uksim-oz.ru/laboratornye-mufelnye-pechi/>
39. Муфельная электрическая печь типа МП-2М [Текст] / Утенский завод лабораторных электропечей, Утена – 1961г.
40. Реброва И.А. Планирование эксперимента [Текст] / И. А. Ребров // Омского института водного транспорта филиала НГАВТ: учеб. Пособие / И. А. Ребров. – Омск, 2010. – Разд. 1. – С. 8–19

41. Монтгомери Д. К. Планирование эксперимента и анализ данных: Пер. с англ. – Л.: Судостроение, 1980. – 384 с., ил.

42. Ленок А. А. Дослідження технології виготовлення крутозагнутих відводів трубопроводу [Текст] / А. А. Ленок, О. В. Виновец // Машини та технології обробки матеріалів тиском: міжнар. наук.-техн. конф., 20–22 жовт. 2020 р. Тезиси докл. – Х., 2020. – С.22.

43. Lenok, A. A. “Methods of manufacturing of steeply curved taps for pipeline systems” [Text] / A.A. Lenok, V.D. Abdul, V.V. Shirokobokov, H. Dyja, M. Knapinski // XIX International Scientific Conference New technologies and achievements in metallurgy, material engineering and production engineering: monografie. – Nr 78. – Częstochowa, 2018. – P. 84-88. 24

44. Ленок А. А. Аналіз сучасних методів виготовлення крутозагнутих відводів для трубопровідних систем [Текст] / IX Міжнародна науковотехнічна конференція «Теоретичні та практичні проблеми в обробці матеріалів тиском і якості фахової освіти». – КПІ ім. І. Сікорського, ХНТУ. – 28 травня–01 червня, 2018. – С. 120-122.

45. Ершов А. Г. Формирование патрубков из труб, втапливанием в фильеру с внутренним давлением [Текст] / А. Г. Ершов // Кузнечно-штамповочное производство, №7. – 1974. – С. 23-26.

46. Ленок А. А. Проблеми виготовлення крутозагнутих відводів для газота водопровідних систем [Текст] / А. А. Ленок, В. В. Широкобоков // XI Міжнародна науково-технічна конференція «Ресурсозбереження та енергоефективність процесів та обладнання обробки тиском в машинобудуванні та металургії, присвячена 90-річчю заснування кафедри обробки металів тиском». – НТУ ХП. – 20–22 листопада, 2019. – С. 92-93.

47. Характеристика гибочных операций и напряженно-деформированное состояние металла при гибке [Электронный ресурс]: Режим доступа: <https://cutt.ly/4hHDDk1>

48. Охорона праці в галузі: Тексти (конспект) лекцій / О.В. Нестеров, Каф. ОП і НС, НУ “Запорізька політехніка”, Запоріжжя, 2020 – 125с.

49. Загальні вимоги стосовно забезпечення роботодавцями охорони праці працівників [Текст]: НПАОП 0.00-7.11-12. – На заміну наказ МНС України від 26.12.2011 №1350 «Про затвердження Загальних вимог стосовно забезпечення роботодавцями охорони праці працівників» ; чинний з 2012-03-16. – К.: Міністерство надзвичайних ситуацій України

50. Інженерне обладнання будинків і споруд. Природне і штучне освітлення. [Текст]: ДБН В.2.5-28-2006. – На заміну СНиП II-4-79; чинний з 2006-10-01. – К.: Наказом Міністерства будівництва, архітектури та житлово-комунального господарства України

51. Правила безпечної експлуатації електроустановок [Текст]: НПАОП 40.1-1.01-97. – На заміну НАОП 1.1.10-1.01-85; чинний з 1998-03-01. – К.: наказом Державного комітету України по нагляду за охороною праці

52. Безпечність промислових підприємств. Загальні положення та вимоги [Текст]: ДСТУ 32.73-95; чинний з 1996-07-01 – К.: наказом Держстандарту України

53. ССБТ. Оборудование производственное. Общие эргономические требования [Текст]: ГОСТ 12.2.049-80; введен с 1982-01-01 – К.: постановление Государственного комитета СССР по стандартам

54. Класифікатор професій [Текст]: ДК-003-95 N 1. – На заміну ДК-003-95; чинний з 1998-07-01 – К.: наказом Держстандарту України

55. Норми визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою [Текст]: НАПБ Б.03.002- 2007 належать до категорії "В", за НПАОП 40.1-1.32-1 (ПБЕ) – до зони класу П-І. – На заміну НАПБ Б.07.005-86 (ОНТП 24-86); чинний з 2007-12-03. – К.: Наказом Міністерства України приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою

56. Правила пожежної безпеки в [Текст]: Україні НАПБ А.01.001-2014. На заміну НАПБ А.01.001-2004; чинний з 2017-10-03. – К.: Наказом Міністерства внутрішніх справ України