

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЗАПОРІЗЬКА ПОЛІТЕХНІКА»

Машинобудівний

(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))

Обробка металів в тиском

(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

Пояснювальна записка

до дипломного проекту (роботи)

магістр

(освітньо-кваліфікаційний рівень)

На тему *Дослідження процесу шпунту труб з радіусом менше стандартного без наповнювача*

Виконав: студент 11 курсу, групи М-В184

Напряму підготовки (спеціальності)

131 Прикладна механіка, 13 Механізмів і механізмів

(шифр і назва напряму підготовки, спеціальності)

Тимочий В.Г.

(прізвище та ініціали)

Керівник *к.т.н., доц. Обруч В.Ф.*

(прізвище та ініціали)

Рецензент *к.т.н., доц. Павленко Д.В.*

(прізвище та ініціали)

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

Інститут, факультет Машинобудівний
 Кафедра Обробка металів в тиском
 Ступінь вищої освіти магістр
 Спеціальність 131 Прикладна механіка
 (код і найменування)
 Освітня програма (спеціалізація) 13 Механізми і механізми
 (назва освітньої програми (спеціалізації))

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

В.В. Широкобров
 « 16 » грудня 20 19 року

ЗАВДАННЯ

НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТА(КИ)

Тимошук Віталія Геннадійовича
 (прізвище, ім'я, по батькові)

- Тема проекту (роботи) Дослідження процесу шпунту труб з радіусом менше стандартного без наробивована
- керівник проекту (роботи) кадр. техн. кадр. доцент Обруч Василь Григорійович
 (прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
- затверджені наказом закладу вищої освіти від « 14 » листопада 20 19 року № 398
- Строк подання студентом проекту (роботи) 12.12.2019
- Вихідні дані до проекту (роботи) Технічна температура, технологічний процес шпунту труб, гідравлічний прес П481А.
- Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Літературний огляд щодо питання дослідження процесу шпунту труб. 2. Обладнання, яке використовується при проведенні досліджень. 3. Методика проведення досліджень. 4. Охорона праці та безпека у наведених ситуаціях.
- Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
Презентація: 31 слайдів

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	прийняв виконане завдання
1	Обрун В. Д. к.т.н., доц., Ленок А. А. ст. викл.	<i>Обрун В. Д.</i>	<i>Обрун В. Д.</i>
2	Обрун В. Д. к.т.н., доц., Ленок А. А. ст. викл.	<i>Обрун В. Д.</i>	<i>Обрун В. Д.</i>
3	Обрун В. Д. к.т.н., доц., Ленок А. А. ст. викл.	<i>Обрун В. Д.</i>	<i>Обрун В. Д.</i>
4	Нестеров Д. В., к.т.н., доц.	<i>Нестеров Д. В.</i>	<i>Нестеров Д. В.</i>
корисної грамоть	Матюхін А. Ю., доц. кафр. ОМТ	<i>Матюхін А. Ю.</i>	<i>Матюхін А. Ю.</i>

7. Дата видачі завдання « 30 » вересня 2019 року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Збір, аналіз та опрацювання наукової та технічної літератури щодо міцності зчленує труб	18.10.2019	
2	Вибір методики для подальших досліджень. Планування експерименту.	06.11.2019	
3.	Перевірка експериментальних досліджень	22.11.2019	
4.	Оцінка результатів досліджень.	06.12.2019	
5.	Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях при виконанні досліджень процесу зчленує труб.	06.12.2019	

Студент(ка)

Тимохін В. Г.
(підпис)Тимохін В. Г.
(прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи)

Обрун В. Д.
(підпис)Обрун В. Д.
(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

ПЗ: 105 с. , рис. 40, табл. 9, джерел 37.

Мета магістерської роботи – розробити технологію з мінімальними затратами енергоресурсів.

Завдання магістерської роботи – було експериментальне дослідження процесу згинання колін в холодному стані і визначення мінімально можливого $R_{зг}$.

У проекті представлена розробка технологічного процесу з мінімальними витратами енергоресурсів. Отримання крутозігнутих колін в умовах лабораторії кафедри «Обробки металів тиском» та в заводських умовах. Сконструйоване штампове оснащення, розглянуте обладнання на якому проводилися дослідження, проведений перевірочний розрахунок гідравлічного преса П481А та проведене комп'ютерне моделювання штампу. Також було проведено планування дослідження. Розроблені заходи по безпеці життєдіяльності при реалізації спроектованої технології, а також санітарно – гігієнічні заходи.

КРУТОЗІГНУТЕ КОЛІНО, ШТАМПУВАННЯ, РОГОПОДІБНА ВСТАВКА, ЗГИНАННЯ, КРИВОЛІНІЙНИЙ КАНАЛ МАТРИЦІ, СЕКТОР, ГРАФІК, ПРЕС, КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ, ШТАМП, ГОФРИ, ПОТОВЩЕННЯ, ПОТОНШЕННЯ, ОХОРОНА ПРАЦІ

ABSTRACT

The purpose of the master's work is to develop technology with minimal energy costs.

The task of the master's thesis was an experimental study of the process of bending the knees in the cold state and determining the minimum possible R_{zg} .

The project presents the development of technological process with minimal energy consumption. Obtaining of bend knees in the conditions of the laboratory of the Metal Forming Department and in factory conditions. Designed stamping equipment, examined equipment under study, performed the calculation of the hydraulic press P481A and conducted computer simulation of the stamp. The planning of the study was also conducted. Measures on safety of life at realization of the designed technology, and also sanitary - hygienic measures are developed.

BEND KNEE, STAMPING, HORN-SHAPED INSERTION, BENDING, THE CURRENT LINE MATRIX, SECTOR, CHART, PRESS, COMPUTER DESIGN, STAMP, GOUFFERS, THICKENING, THINNING, OCCUPATIONAL HEALTH

ЗМІСТ

Реферат.....	3
Abstract.....	4
Зміст.....	5
Вступ.....	6
1 Літературний огляд щодо питання дослідження процесу згинання труб.....	8
1.1 Основні характеристики крутозігнутих колін.....	8
1.2 Метод виготовлення крутозігнутих колін.....	15
1.2.1 Метод гарячого протягування по рогоподібній вставці.....	15
1.2.2 Метод штампування труб.....	16
1.2.3 Метод штампування з листа.....	28
1.2.4 Метод згинання труб.....	30
1.2.5 Метод прошовхування труби-заготовки через криволінійний канал матриці.....	40
1.2.6 Секторний метод.....	42
1.3 Висновок.....	45
2 Обладнання, яке використовувалося при проведенні досліджень.....	47
2.1 Прес кривошипний КА2330.....	47
2.2 Прес гідравлічний ПГ-100А.....	51
2.3 Прес гідравлічний П481А.....	52
2.4 Нагрівальна муфельна піч.....	66
2.5 Висновок.....	68
3 Проведення досліджень.....	70
3.1 Методика проведення досліджень.....	70
3.1.1 Методика проведення досліджень.....	70
3.1.2 Обладнання.....	71

3.1.3 Інструмент.....	71
3.1.4 Оцінка інформації.....	74
3.1.5 Результати досліджень.....	76
3.1.6 Розрахунок товщини стінок труби.....	79
3.2 Планування дослідження.....	80
3.2.1 Аналіз факторного плану типу 2^k	80
3.2.2 План 2^3	80
3.3 Висновок.....	84
4 Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях.....	86
4.1 Аналіз потенційних небезпек.....	86
4.2 Заходи по забезпеченню безпеки.....	91
4.3 Гігієна виробництва та санітарія праці.....	93
4.4 Пожежна безпека.....	98
4.5 Порядок дії персоналу в умовах НС.....	100
4.6 Висновок.....	101
Список використаної літератури.....	102

ВСТУП

Крутозігнуті коліна – це сполучна деталь, яка служить для зміни напрямку трубопроводу.

Крутозігнуті коліна є найбільш поширеними деталями трубопроводів. Вони призначені для з'єднання зварюванням встик труб одного діаметру, розташованих під кутом. Крутозігнуті коліна, разом з колінами гнутими з нагрівом СВЧ і холодного гнуття, є однією з найважливіших деталей, необхідних для монтажу трубопроводів. Це перехідні частини, що дозволяють з'єднати труби і змінити їх напрям.

У зв'язку з розвитком хімічного, нафтопереробного машинобудування, суднобудування і інших галузей промисловості потреба в них значно зростає. Також згинання труб застосовується в товарах народного споживання.

Коліна підрозділяють на дві великі групи:

- коліна гнуті з прямими ділянками;
- крутозігнуті коліна.

Крутозігнуті коліна, на відміну від гнутих з прямими ділянками, мають відносно малий радіус згинання $R_{\Gamma}=(1-1,5)D_y$. Їх застосування значно спрощує конструювання трубопроводів.

Коліна піддають наступному контролю: зовнішньому огляду для виявлення зовнішніх дефектів; перевірці відповідності розмірів спеціальними приладами і інструментами; гідравлічним випробуванням.

1 ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД ЩОДО ПИТАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ЗГИНАННЯ ТРУБ

1.1. Основні характеристики крутозигнутих колін

Коліно – сполучна деталь, яка служить для зміни напрямку трубопроводу. Коліном є відрізок труби зігнутий під певним кутом. Коліна виготовляються з різних марок сталей, [28].

Коліна призначені для з'єднання встик труб одного діаметра, розташованих під кутом.

Крутозигнуті коліна – це коліна з малим радіусом згинання. Крутозигнуті коліна можна виготовляти з труб і листового прокату.

Крутозигнуті коліна є найбільш поширеними деталями трубопроводів. Вони призначені для з'єднання зварюванням труб одного діаметру, розташованих під кутом. У зв'язку з розвитком хімічного, нафтопереробного, машинобудування, котлобудування, суднобудування і інших галузей промисловості потреба у колінах значно зростає. Особливо велика кількість колін потрібна при спорудженні різних апаратів, компресорів, насосів, газгольдерів, монтаж яких пов'язаний з прокладенням промислових трубопроводів. Протяжність трубопроводів на сучасних нафтопереробних заводах досягає декількох сотень кілометрів. Прокладення його складає значну частину усього об'єму будівельно-монтажних робіт. Наприклад, об'єм монтажу технологічних трубопроводів в хімічній промисловості складає 35...40%, в нафтовій промисловості – 50...55%, в металургійній промисловості – 18...22% від загального об'єму монтажних робіт, [15].

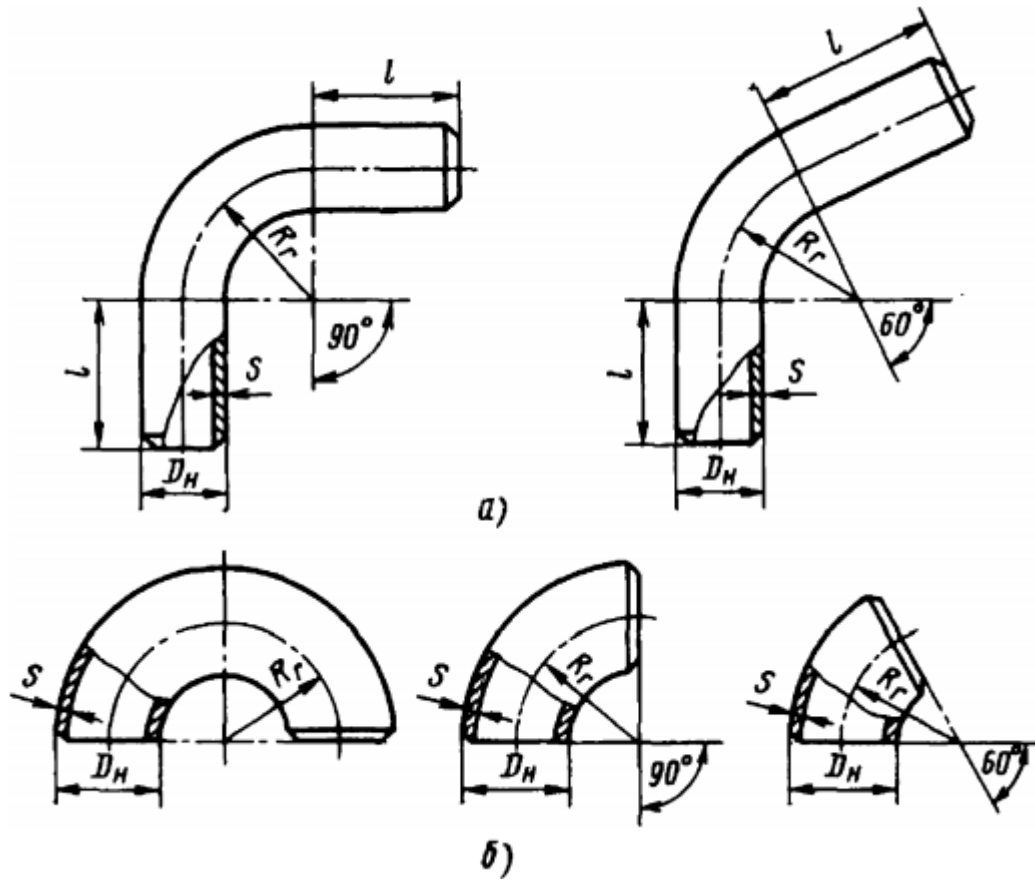
Коліна розрізняють за діаметром умовного проходу (D_y), умовним тиском (P_y) і радіусом кривизни (R_r). Вони мають відповідати вимогам

ГОСТ 17375-2001 і ГОСТ 17380-2001. Найбільше поширення в техніці отримали коліна з діаметром умовного проходу 40...600 мм, умовним тиском 1,6...16 МПа і радіусом кривизни $R_r=(1-3)D_y$. Останніми роками значно зросла тенденція до застосування крутозігнутих приварних колін з радіусом кривизни $(1-1,5)D_y$. Такі коліна значно спрощують компоновку трубопроводів, зменшують габарити апаратів і знижують витрату металу, що особливо вигідно при виготовленні апаратів з дорогих легованих сталей. Залежно від необхідної зміни напрямку трубопроводу застосовують коліна з кутом згину ϕ 15°, 30°, 45°, 60°, 90° і 180°. Допускаються коліна, зігнуті з труб під кутом 180°, виготовляли зварними з двох колін під кутом 90°, [28]. Залежно від агресивності середовища застосовують коліна з вуглецевих, легованих і високолегованих сталей.

Відповідно до діючих технічних умов до крутозігнутих колін пред'являють наступні вимоги. На поверхні готових крутозігнутих колін не допускаються тріщини, заходи і інші дефекти, що знижують їх міцність. Незначні забоїни, вм'ятини, дрібні риски, тонкий шар окалини і сліди зачистки дефектів допускаються, якщо товщина стінки коліна не виходить за межі мінусового відхилення. Торці колін повинні знаходитися в площині, перпендикулярній до подовжньої осі колін. На торцях колін здійснюється обробка кромки з утворенням фасок під зварювання. Товщина стінки колін у будь-якому місці має бути не менше 85% номінальної товщини. Овальність перерізу колін в місцях згинання не повинна перевищувати 5...10% (залежно від призначення колін). Коліна піддають наступному контролю: зовнішньому огляду для виявлення зовнішніх дефектів; перевірці відповідності розмірів спеціальними приладами і інструментами; гідравлічним випробуванням. Механічні властивості деталей трубопроводів з різних сталей повинні відповідати вимогам відповідних ГОСТам на труби.

Коліна підрозділяють на дві великі групи: коліна гнуті з прямими ділянками і крутозігнуті коліна зображені на рисунок 1.1. Крутозігнуті

коліна, на відміну від гнутих з прямими ділянками, мають відносно малий радіус згинання $R_r=(1,0\dots1,5)D_y$.



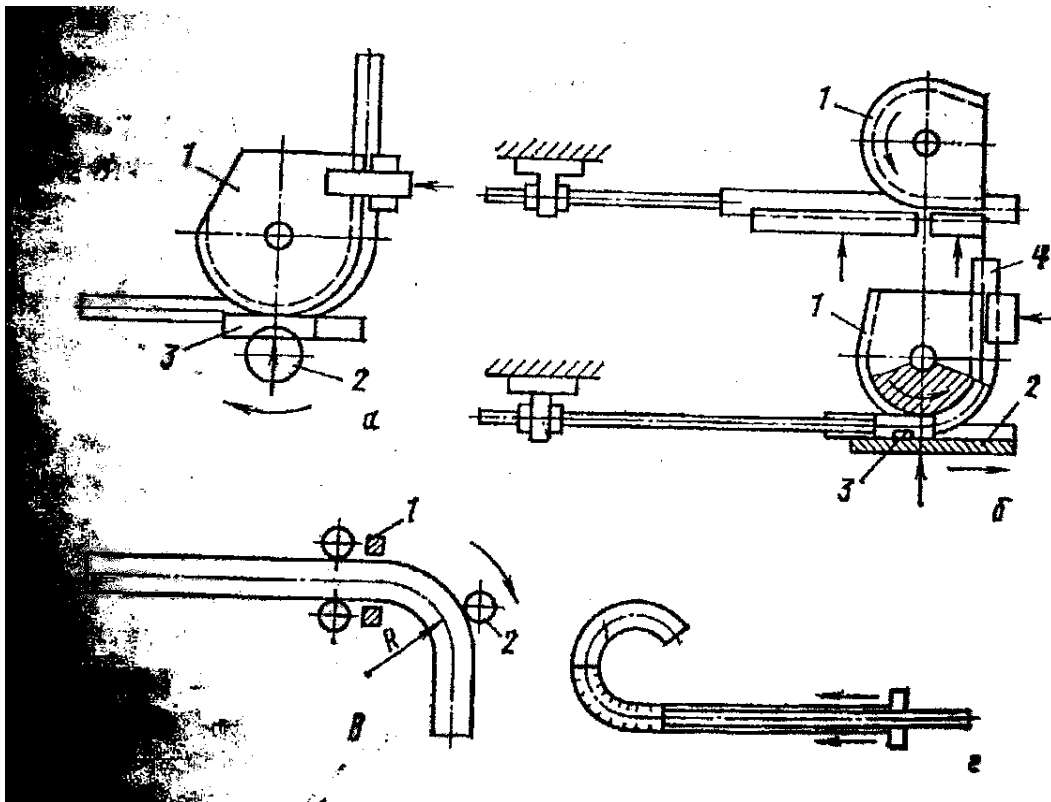
а – коліна гнуті з прямими ділянками; б – кругозігнуті коліна.

Рисунок 1.1 – Різновиди колін

Під час згинання труби її поперечний переріз набуває форми овалу, стінки труби з більшим радіусом кривизни (зовнішні стінки) стоншуються, а з меншим радіусом кривизни (внутрішні стінки) стовщуються, іноді утворюючи складки. Для запобігання втрати трубою стійкості під час згинання вживають різних заходів, розміщуючи, наприклад, всередині труби дорн, або застосовують наповнювач.

Згинання труб найчастіше виконують у холодному стані. Нагрівання застосовують за малих радіусів згинання, а також за великої товщини стінок.

Найбільш поширенні способи згинання показано на рисунку 1.2.



а – обкочування (1 – згинальний сектор-шаблон; 2 – обкочувальний ролик; 3 – повзун); б – намотування (1 – згинальний сектор-шаблон; 2 – повзун; 3 – згинальна оправка або дорн; 4 – труба); в – з нагріванням струмами високої частоти або струмами промислової частоти (1 – індуктор; 2 – ролик); г – протягування на рогоподібній вставці.

Рисунок 1.2 — Способи згинання труб

Обкочування застосовують для труб з діаметром до 50 мм показано на рисунку 1.2, а. У цьому випадку трубу згинають навкруги нерухомого згинального сектора (шаблону) за допомогою обкочувального ролика, що притискає її до цього сектора. Притискання здійснюють безпосередньо роликом або через повзун. Ролик з повзуном рухається по колу навкруги згинального сектора від місця закріплення труби на потрібний кут.

Згинання намотуванням застосовують для труб зовнішнім діаметром до 426 мм показано на рисунку 1.2, б. У цьому випадку обертають згинальний сектор із закріпленим на ньому кінцем труби, яку зовні підтримують повзуном, а зсередини дорном, який одночасно запобігає втрати стійкості труби в зоні згинання. Закріплений кінець труби примушує трубу, яка знімається з дорна, намотуватися на сектор.

Згинання труб з нагріванням струмами високої частоти та струмами промислової частоти рисунок 1.2, в забезпечує згинання з незначними відхилами форми поперечного перерізу від круглої, а також з меншими стоншеннями стінок порівняно з розглянутими методами. Деформування відбувається на малій кільцевій ділянці труби, нагрітої в зоні приміщення індуктора. У міру подавання труби вздовж осі місце нагрівання (на трубі) переміщується, і труба, безперервно деформуючись під дією відхильного ролика, згинається до заданого розміру.

У разі згинання труб протягуванням по рогоподібній вставці трубу-заготовку протягають у печі по рогоподібній вставці, що розширюється рисунок 1.2, г.

До основних характеристик крутозигнутих колін відносять:

Радіус згинання $R_{зг}$, який визначається по осьовій лінії труби, [9], [1] показано на рисунку 1.3.

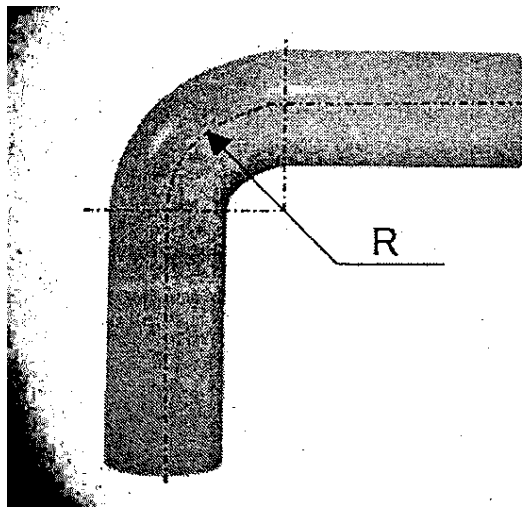


Рисунок 1.3 – Радіус згинання

Три інших значення визначають:

- проект радіуса – теоретичне значення радіуса, визначене в проекті або для конкретної деталі.

- радіус інструмента – створене згинальною матрицею значення радіуса, завжди дуже близьке до радіусу проекту.

- радіус згинання – величина, отримана на зігнутій трубі після деформації. Вона відрізняється від радіуса згинаючої матриці із-за пружності труби (пружинення), [8], [2].

На рисунку 1.4 показана довжина прямої ділянки L в мм між колінами, яка вимірюється від кінця одного радіуса до початку наступного. Аналогічно і так далі.

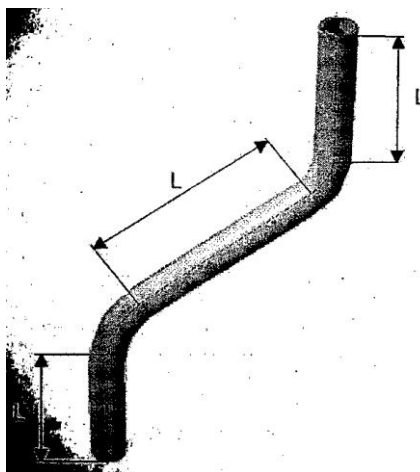


Рисунок 1.4 – Довжина прямої ділянки

Кут повороту (в градусах) R між площинами, визначається двома згинами, зображений на рисунку 1.5. Значення кута повороту використовується у відносних або в абсолютних величинах, [10].

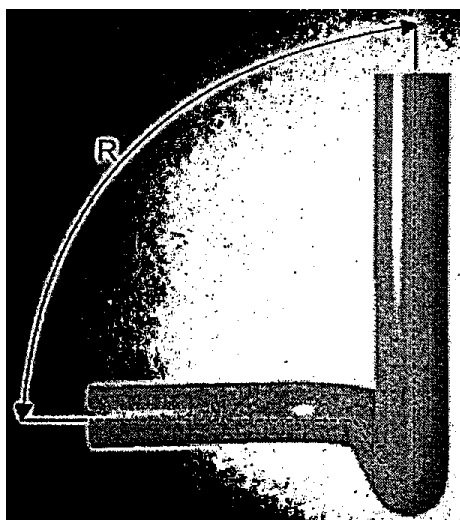


Рисунок 1.5 – Кут повороту

На рисунку 1.6 показано один із основних параметрів крутозігнутих колін – кут згинання A – це кут між двома осями прямолінійних ділянок, [1].



Рисунок 1.6 – Кут згинання

В таблиці 1.1 показані розміри крутозігнутих колін. Короткі відомості з ГОСТ 17375-2001.

Таблиця 1.1 – Розміри крутозігнутих колін. Короткі відомості з ГОСТ 17375-2001 [11].

D_N	D	T	F=R	H	C	B	Маса, кг, відвода		
							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
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

Продовження таблиці 1.1

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.Методи виготовлення крутозігнутих колін

1.2.1. Метод гарячого протягування по рогоподібній вставці

Метод гарячого протягування по рогоподібній вставці крутозігнутих колін з трубних заготовок отримав широке поширення на вітчизняних і зарубіжних заводах. Суть процесу протягування полягає в тому, що заготовку, вирізану з труби, надягають на оправку, нагрівають і протягають по рогоподібній вставці [12], при цьому одночасно відбувається процес роздавання труби по діаметру і згинання, нейтральна вісь якої співпадає з віссю вставки труби рисунок 1.7. При протягуванні по рогоподібній вставці трубна заготовка спочатку проходить по направляючій ділянці вставки I, потім потрапляє на зігнуту частину вставки II, що безперервно збільшується по діаметру, і у кінці процесу протягування проходить калібруючу ділянку III з постійним діаметром, рівним внутрішньому діаметру отриманого коліна [3].

Спосіб протягування по рогоподібній вставці належить до високопродуктивних [13]. Він застосовується для виготовлення крутозігнутих колін діаметром умовного проходу D_B від 80 до 500 мм, радіусом згинання $R_{зг}=(1,0...1,5)D_B$ і відносною товщиною стінки $s/D_B=0,016...0,10$. В ході розгляду цього питання виявилось, що відмінною особливістю цього способу — є можливість отримання крутозігнутих колін практично з однаковою товщиною стінки по перерізу незалежно від радіусу згинання [12].

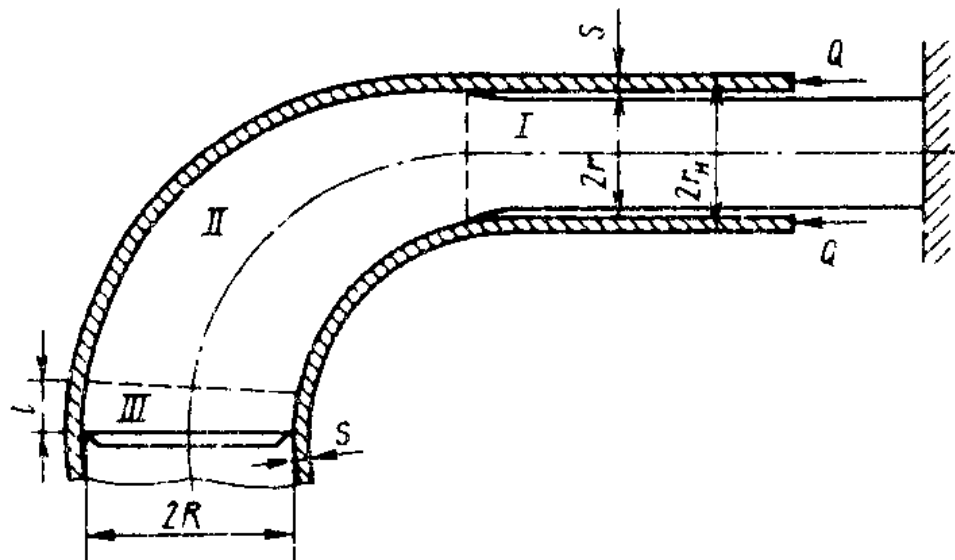


Рисунок 1.7 – Схема процесу протягування по рогоподібній вставці

Технологічний процес виготовлення колін методом протягування по рогоподібній вставці складається з наступних операцій: різання труб на мірні заготовки; протягування по рогоподібній вставці; калібрування протягнутих колін; механічної обробки торців; контролю і випробування, [3].

Розрізання труб на мірні заготівлі найдоцільніше виконувати на трубовідрізних верстатах, оскільки це дає можливість отримати гладкі торці трубних заготовок, площини яких перпендикулярні до подовжньої осі заготівлі. Допускається також газове різання труб за умови якісного

виконання різь. Нерівна поверхня торців призводить до розривів заготовок при протягуванні їх через спеціальні вставки. Особливо часто це спостерігається при протягуванні колін з радіусом згинання, рівним діаметру умовного проходу. В цьому випадку трубна заготовка збільшується по діаметру в 1,5 рази.

Основним інструментом для виготовлення колін протягуванням є той, що збільшується по діаметру рогоподібної вставки, [12]. Вставка працює в тяжких умовах, піддававшись тривалій дії високих температур і сил. Стійкість вставки має великий вплив на якість отримуваних колін і продуктивність процесу. Якщо в процесі тривалої експлуатації рогоподібної вставки втратить необхідну кривизну (як це буває на практиці), то отримувані коліна матимуть відхилення по радіусі згинання. Тому матеріал вставки повинен мати високу міцність і підвищену стійкість.

Конфігурація рогоподібної вставки залежить в основному від радіусу згинання і діаметру коліна. На рисунку 1.8 показана спеціальна вставка, яка використовується для протягування колін радіусом згинання $R_{зг}=1,5D_y$.

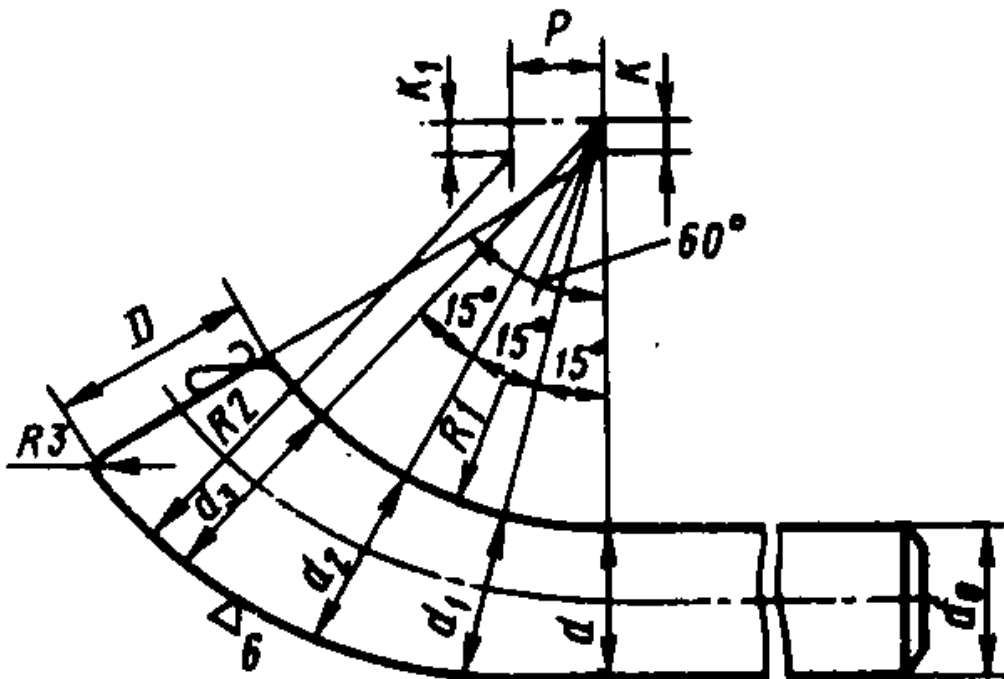


Рисунок 1.8 – Розміри рогоподібної вставки для протягування колін

Розміри вставки для деяких типорозмірів колін приведені в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 — Розміри рогоподібної вставки для виготовлення колін радіусом згинання $R_{зг}=1,5D_y$

Розміри колін $D_H \times S \times R_r$	Розміри вставок										
	d_0	d	d_1	d_2	d_3	D	R_1	R_2	k	k_1	P
133x5x190	82	85	95	107	117	122	240	310	19	15	52
159x6x225	99	102	114	129	140	147	286,5	373	22,5	16	58
219x7x300	142	145	150	180	197	2005	382	502	30	25	86
273x9x375	173	176	197	223	244	255	482	630	39,5	31	110

Протягування крутозігнутих колін здійснюють на спеціальних горизонтально-гідралічних пресах. Великий вплив на характер формозмінення труби-заготовки при протягуванні по рогоподібній вставці має температурний режим. Найбільш високу температуру заготовки, що протягується, має в районі вихідного перерізу конуса роздавання і поступово зменшується у напрямку до прямолінійної ділянки труби, що згинається. Перепад температур між початком і кінцем осередку деформації при протягуванні колін з вуглецевих сталей складає приблизно 250°C , [12]. Увігнута поверхня коліна, що простягається, де знаходиться зона найбільших деформацій, нагрівається до більш високої температури, ніж опукла. Найбільша різниця температур в двох протилежних точках, розташованих в одній площині, може досягати $60...80^\circ\text{C}$. Температура труби-заготовки з боку тих, що утворюють вставку має бути суворо однаковою, інакше протягування призводить до утворення спіральності коліна, тобто до відхилення геометричної осі коліна від площини згинання. Стабільність температурного режиму нагрівання труби-заготовки при протягуванні колін слід забезпечувати за рахунок автоматичного регулювання.

Нині наряду вітчизняних заводів успішно експлуатуються спеціальні горизонтальні преси моделей П0926, П1031А, П1034. Преси можуть працювати в автоматичному режимі і здійснювати процес протягування одночасно на трьох вставках, [12]

Слід зазначити, що при гарячому протягуванні крутозігнутих колін у разі завантаження штучних трубних заготовок іноді мають місце відходи, які утворюються внаслідок того, що відбувається зім'яття і розрив торців трубних заготовок, а також утворення так званих "козирків". Крім того, відходи утворюються із-за не кратності труб при розкрої їх на мірні заготовки.

З метою зниження відходів труб розроблена конструкція гідравлічного горизонтального пресу моделі П-1034, для виготовлення великогабаритних колін $D_B=250...700$ мм шляхом протягування з довгомірних труб. Нагрівання здійснюється в спеціальній кільцевій печі або за допомогою СВЧ. На сході з рогоподібної вставки коліна відрізаються в гарячому стані спеціальним пристроєм. Безперервність процесу протягування дозволяє значно поліпшити якість колін, понизити відходи труб і підвищити продуктивність в 1,5-2 рази за рахунок підвищення долі машинного часу до 90%.

При протягуванні крутозігнутих колін дуже перспективним є використання струмів високої частоти (СВЧ), як джерела нагрівання. За допомогою СВЧ представляється можливим регулювання в широких межах швидкість нагрівання, температури і температурного градієнта як по довжині, так і по перерізі труби, що простягається по рогоподібній вставці. Це дозволяє встановлювати у кожному конкретному випадку найбільш оптимальні режими процесу протягування залежно від відносної товщини стінки труби, радіусу згинання, вживаного мастила і матеріалу коліна, що простягається. Як розглядається процес протягування колін з нагріванням СВЧ дозволяє в 1,5...2 рази підвищити продуктивність праці, а також поліпшити якість колін, знизити витрату труб, збільшити стійкість рогоподібних вставок, [13].

Незважаючи на досить високі техніко-економічні показники способу гарячого протягування колін по рогоподібній вставці спостерігаються відхилення розмірів колін від номінальних. Овальність в торцевих і проміжних перерізах іноді перевищує допуски на діаметр труби; розміри радіусу згинання колін коливаються до $\pm 7\%$; спостерігається спіральність геометричної осі колін.

Оскільки вимоги до точності розмірів і якості виготовлення колін безперервно підвищуються, а обсяг виробництва і номенклатура колін з кожним роком збільшуються, потрібне подальше вдосконалення технологічного процесу виготовлення колін протяганням. Істотний вплив на характер процесу формоутворення при гарячому протяганні крутозігнутих колін має конструкція (геометричні розміри) рогоподібної вставки.

1.2.2. Метод штампування труб

За серійного виробництва найбільш продуктивним способом виготовлення крутозігнутих колін є штампування з трубних заготовок.

Штампування колін з трубних заготовок є одним з високопродуктивних способів. В порівнянні зі згинанням на трубозгинальних верстатах цей спосіб забезпечує більш високу точність розмірів колін по радіусу згинання і діаметру, що дозволяє виготовляти коліна з відносно малим радіусом згинання, [15].

Залежно від радіусу згинання колін і відношення товщини їх стінки до діаметру застосовують різні технологічні схеми процесу штампування і різні конструкції штампів.

При виготовленні відносно товстостінних колін на радіус згинання $R_{зг} > 2,5D$ з прямими ділянками застосовують штампи, призначені для вільного згинання трубних заготовок на кут до 180° . Конструкція такого

штампу показана на рисунку 1.9, вона дозволяє отримувати коліна за одну операцію, тобто за один хід пресу.

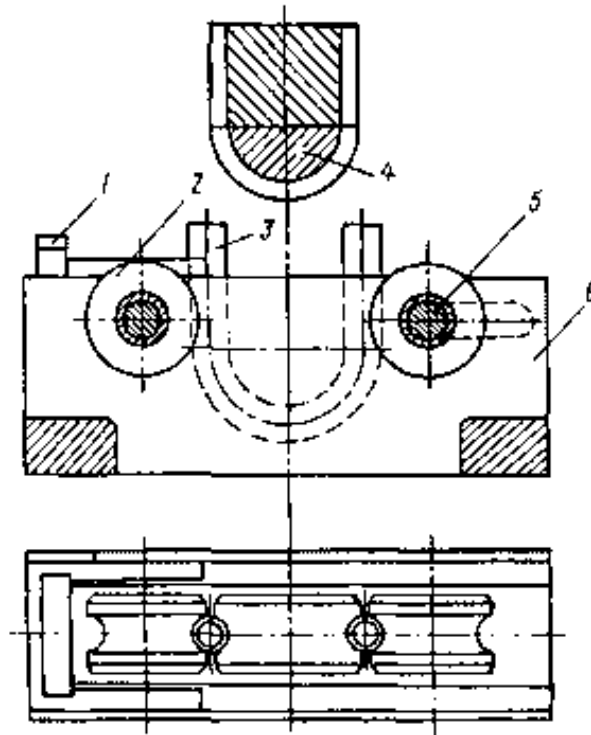


Рисунок 1.9 – Схема штампа для згинання колін з прямими ділянками

Штамп складається з корпусу 6, нижніх опорних роликів 2, що вільно обертаються на осях 5, і пуансона 4, радіус якого обумовлюється радіусом кривизни крутозігнутого коліна, що згинається, 3. Трубна заготовка встановлюється на опорі 7, а кут згинання регулюється величиною ходу пуансона. Пуансон і опорні ролики мають струмки, що відповідають діаметру заготовки. При заміні на штампі роликів і пуансона можна виготовляти коліна з різним радіусом і кутом згинання з трубних заготовок різних діаметрів.

Крутозігнуті коліна виготовляють на гідравлічних, фрикційних або кривошипних пресах. При цьому штампування виконують за схемою: згинання, об'ємне формування (правлення).

Схему деформування трубної заготовки під час штампування крутозігнутих колін показано на рисунку 1.10.



а – труба-заготовка; б – згинальний рівчак; в – формувальний рівчак.

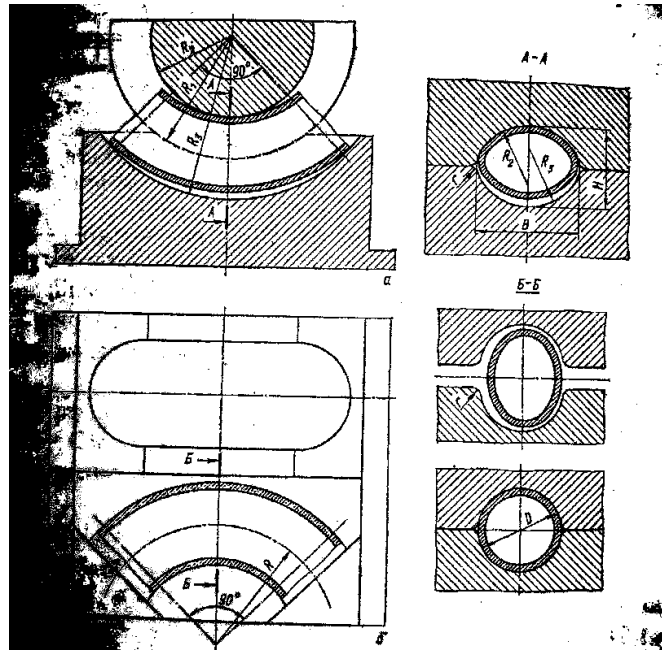
Рисунок 1.10 – Схема деформування труби-заготовки під час штампування крутозігнутих відводів

Чим тонша стінка й чим більший діаметр труби-заготовки, тим значніше викривлення перерізу після згинання. У зв'язку з цим застосовують чотири технологічні варіанти штампування заготовок:

1) Штампування без підкладних торцевих оправок зображено на рисунку 1.11; застосовують, якщо $s/D > 0,17$ і $R = (1,3 \dots 1,6)D$; штампування нагрітої труби-заготовки виконують у дворівчановому штампі за дві операції;

2) Штампування з підкладними торцевими оправками зображено на рисунку 1.12: застосовують, якщо $s/D = 0,09 \dots 0,17$ і $R = (1,3 \dots 1,6)D$; застосування оправок запобігає сплющуванню торців заготовки;

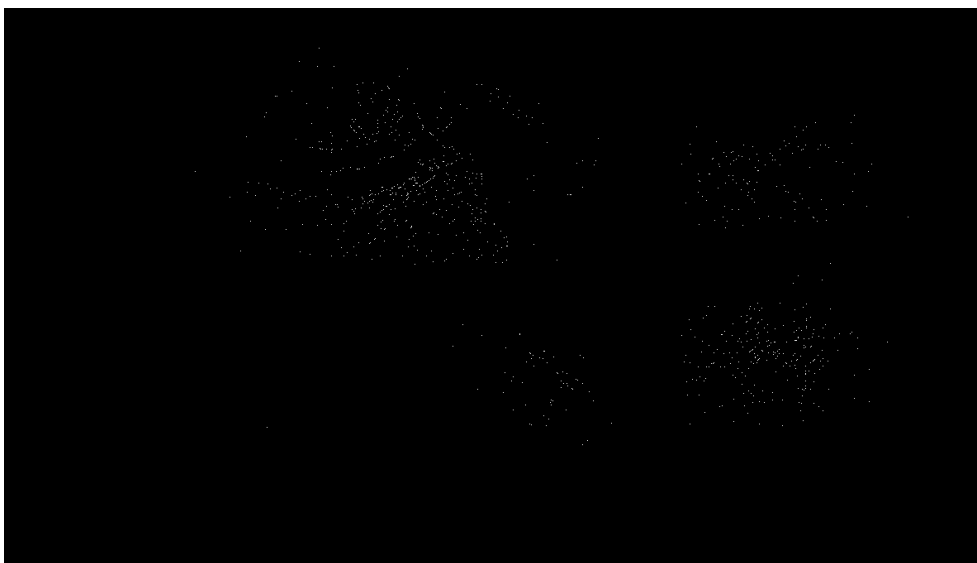
3) Штампування із внутрішнім пуансоном показано на рисунку 1.13: застосовують, якщо $s/D = 0,08 \dots 0,09$ і $R = (1,25 \dots 1,6)D$, а також якщо $s/D = 0,065 \dots 0,08$ і $R = (1,7 \dots 1,8)D$; цей метод дає змогу запобігти значному викривленню профілю трубки-заготовки;



а – згинальний рівчак у зімкненому стані; б – формувальний рівчак.

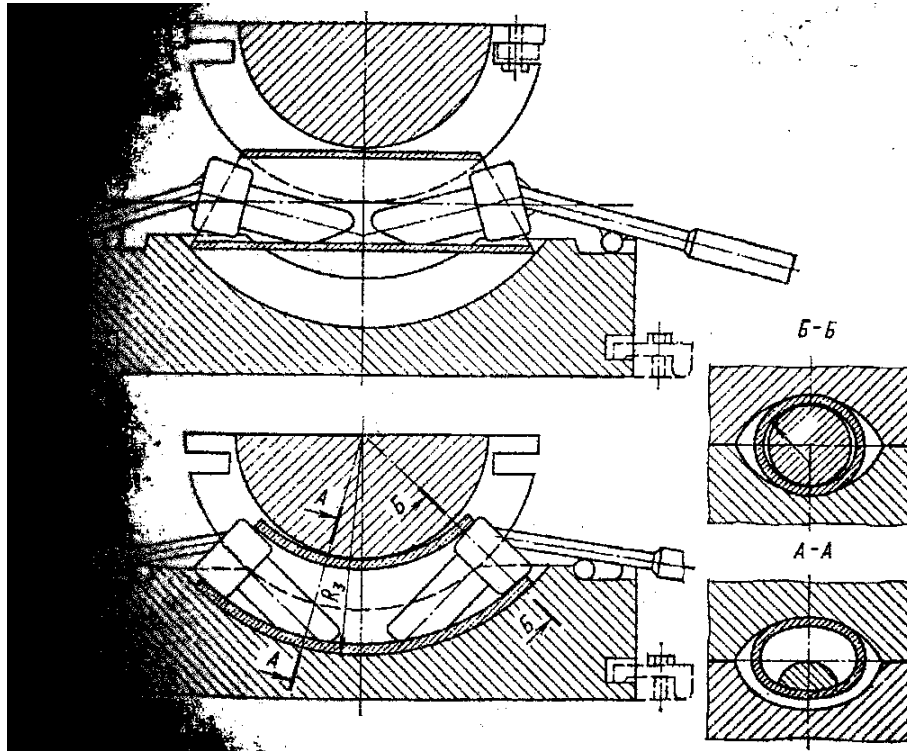
Рисунок 1.11 – Схема штампування колін без підкладних оправок

4) Штампування із проміжною правкою показано на рисунок 1.14 і штампування зі складеною шарнірною вставкою рисунок 1.15; застосовують для тонкостінних труб, якщо $s/D=0,05\dots0,65$ і $R=(1,3\dots1,5)D$, а також якщо $s/D=0,07$ і $R=(0,85\dots1,0)D$; дає змогу ефективно формувати тонкостінні коліна.



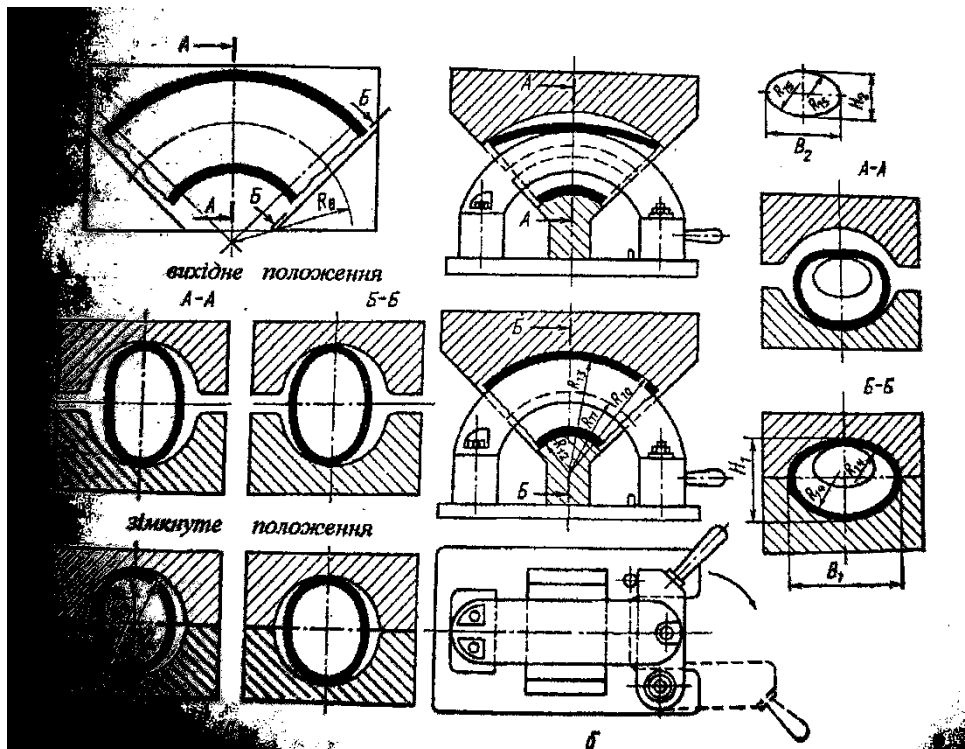
а – згинальний рівчак; б – торцева оправка.

Рисунок 1.12 – Схема штампування колін з підкладними торцевими оправками:



а – згинальний рівчак у вихідному положенні; б – згинальний рівчак у зімкнутому положенні.

Рисунок 1.13 – Схема штампування колін з внутрішнім пуансоном



а – попереднє формування; б – правлення.

Рисунок 1.14 – Схема штампування колін з проміжним правленням



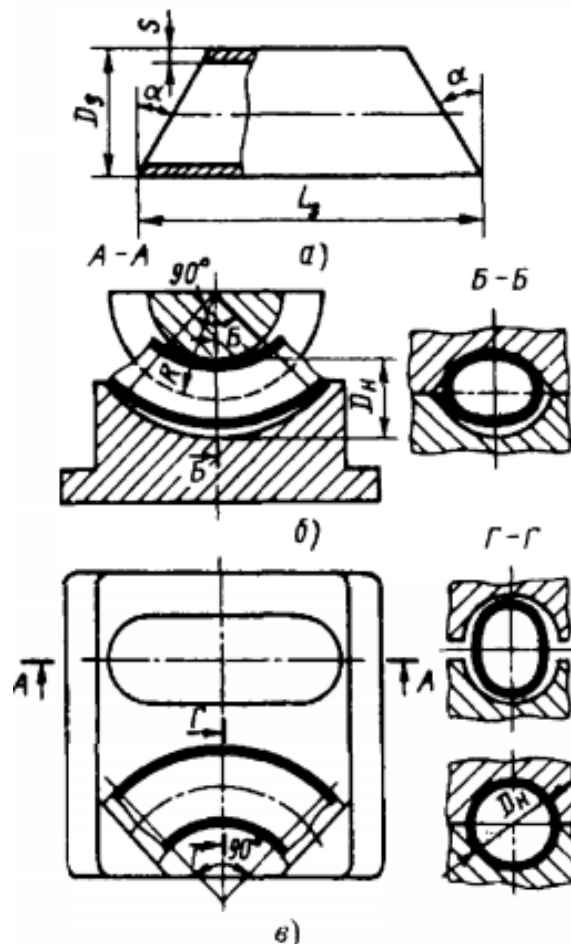
а – вихідне положення заготовки та вставки у згинальному рівчаку; б – згинальний рівчак у зімкнутому положенні.

Рисунок 1.15 – Схема штампування колін зі складеною шарнірною вставкою

При виготовленні крутозігнутих колін з радіусом згинання $R_{зг}=(1,0\dots1,5)D_y$ штампування з трубних заготовок здійснюють в гарячому стані за декілька операцій. Технологічний процес виготовлення крутозігнутих колін з трубних заготовок включає наступні операції: розрізання труби на мірні заготовки, штампування колін, підрізування торців під зварювання, гідравлічні та інші випробування, [15]

При виготовленні відносно товстостінних колін $\frac{s}{D_y} > 0,17$ і радіусом згинання $R_{зг}=(1,3\dots1,5)D_y$ процес штампування здійснюють на кривошипних або фрикційних пресах в двоірвчановому штампі за дві операції показано на рисунку 1.16.

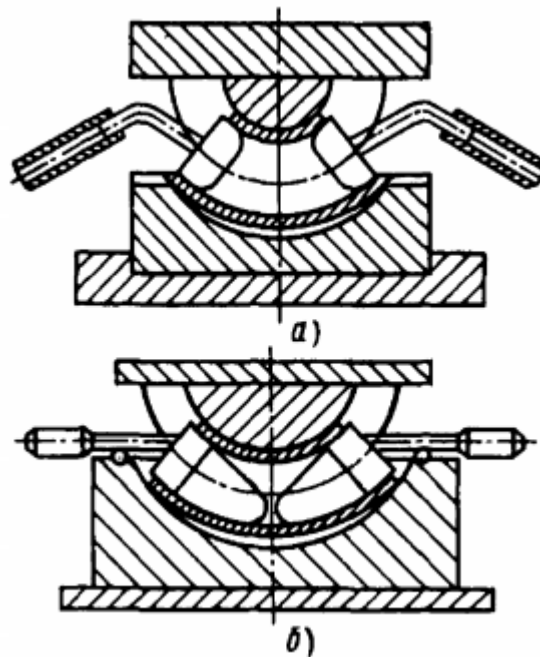
Трубну заготовку після нагрівання до кувалльної температури спочатку укладають в згинальний струмок штампу. При ході повзуна пресу заготовка згинається і одночасно сплющується по діаметру, набуваючи форми овалу. Поперечний переріз згинального струмка штампу в зімкнутому стані забезпечує овалізацію труби без перешкод дивись рисунок 1.16, б, переріз Б-Б. Цим досягається різке зниження стоншування стінки на опуклій стороні коліна. Зігнуту в першому струмку штампу заготовку після повороту на 90° навколо подовжньої осі перекладають в калібрувальний струмок штампу рисунок 1.16, в, [16].



а – вихідна трубна заготовка; б – згинання з овалізацією в штампі; в – калібровка коліна.

Рисунок 1.16 – Схема технологічного процесу штамповки крутозігнутих колін

При повторному ході повзуна пресу роблять обтискання заготовки по діаметру і калібрування показано на рисунку 1.16, в, переріз Г-Г. При калібруванні відбувається деяке потовщення стінки, що дозволяє майже повністю компенсувати стоншування стінки на опуклій стороні коліна, що з'явилося при проведенні першої операції – згинання. Зрештою стоншування стінки складає приблизно 2...4%, [15].



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

Рисунок 1.17 – Операція згинання із тонкостінних труб

У разі штампування відносно тонкостінних колін $\frac{s}{D_y}=0,09...0,17$ і радіусом згинання $R_{зг}=(1,3...1,5)D_y$, то з метою зменшення сплюснення торців заготовки при операції згинання застосовують спеціальні оправки, що вставляються в торці заготовок рисунок 1.17, а. Діаметр торцевої оправки приймають $(0,9...0,93)D_y$, а кут конусності — $1...10^\circ$.

При штампуванні тонкостінних колін $\frac{s}{D_y}=0,06...0,09$ операція згинання здійснюють з ложкоподібними оправками рисунок 1.17, б. Необхідність їх

застосування пов'язана з тим, що при згинанні відбувається значне спотворення поперечного перерізу трубної заготовки, а на опуклій стороні утворюється прямолінійна ділянка. Після операції згинальні внутрішні пуансони виймають, потім перекладають заготовку в калібрувальний струмок штампу і калібрують вказаним вище способом. У разі, якщо пуансони затискаються, заготовку калібрують разом з пуансонами, які потім легко виймаються, [16].

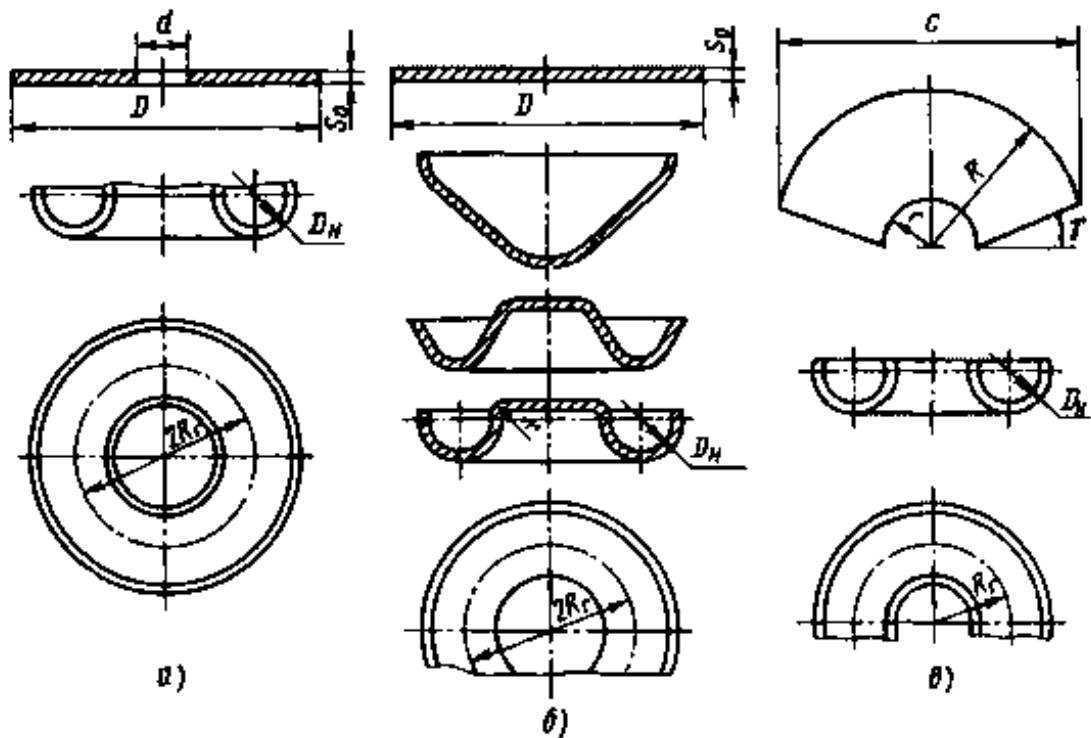
1.2.3. Метод штампування з листа

Застосовують різні способи виготовлення крутозігнутих колін з листових заготовок. Проте в усіх випадках технологічний процес передбачає вирізку з листового прокату початкових заготовок (кільцеподібних, круглих або секторних) необхідних розмірів, нагріваючи їх в газових печах і подальше штампування половинок тороподібних деталей в спеціальних штампах за одну або декілька операцій показано на рисунок 1.18, [15].

Отримані таким чином половинки тороподібних деталей піддають механічній обробці, накладають одна на одну, зварюють і при необхідності розрізають на двійники або косинці (коліна з кутом згинання 180° або 90°). Незважаючи на порівняно високу трудомісткість технологічного процесу, штампозварювальний спосіб виготовлення крутозігнутих колін має ряд переваг і в деяких випадках може бути економічно доцільнішим, [17].

Основна перевага полягає в тому, що цим способом можна виготовляти коліна з будь-яким радіусом згинання і будь-яким відношенням товщини стінки до діаметру $\frac{s}{D_y}$. При цьому в якості початкового матеріалу може бути використаний листовий прокат з найрізноманітніших сталей: вуглецевих, конструкційних, нержавіючих, кислототривких та ін., [3].

Штамповзварювальний спосіб виготовлення крутозігнутих колін в деяких випадках може бути економічно вигіднішим, оскільки листовий прокат, використовуваний для цього способу, є дешевшим і менш дефіцитнішим, чим безшовні труби. Особливо це відноситься до труб з високолегованих нержавіючих сталей, вартість яких більш ніж в півтора рази вище, ніж вартість листового прокату, [3].



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

Рисунок 1.18 – Схема отримання крутозігнутих колін

При розгляді особливостей штамповзварювального способу виготовлення крутозігнутих колін необхідно відмітити, що для його здійснення не потрібно спеціальне устаткування і капітальні витрати. Він може бути організований на будь-якому заводі, де встановлено ковальсько-пресове устаткування.

Штамповзварювальний спосіб доцільно застосовувати для виготовлення товстостінних колін з товщиною стінки $s > 0,1D_y$ і радіусом згинання

$R_{зг}=(1,0...1,5)D_y$, великогабаритних крутозигнутих колін, а так само коліна з високолегованих сталей і сплавів, [15]. Вирізку заготовок з листа найчастіше здійснюють газовим різанням (вуглецеві і конструкційні сталі) або плазмовим різанням (нержавіючі сталі). Штампування тороподібних деталей роблять на гідравлічних або фрикційних пресах (іноді на кривошипних пресах), причому, залежно від матеріалу і товщини стінки листової заготовки штамнують в гарячому або холодному стані.

1.2.4. Метод згинання труб

Згинанням труб називається технологічний процес, в результаті якого під дією зовнішніх навантажень змінюється нахил геометричної осі труби. При цьому в металі стінок труби виникають пружні і пружно-пластичні деформації. На зовнішній частині згинання виникає розтягуюче напруження, а на внутрішній — стискаюче. В результаті цього напруження зовнішня по відношенню до осі згинання стінка труби розтягується, а внутрішня стискається, [18].

В процесі згинання труби відбувається зміна форми поперечного перерізу — початковий кільцевий профіль труби переходить в овальний. Найбільша овальність перерізу спостерігається в центральній частині згину і зменшується до початку і кінця згинання. Це пояснюється тим, що найбільше розтягуюче і стискаюче напруження при згинанні доводиться на центральну частину згину. Овальність перерізу в місці вигину не повинна перевищувати: для труб діаметром до 19 мм - 15%, для труб діаметром 20 мм і більше - 12,5%. Овальність перерізу Q у відсотках визначають по формулі 1.1:

$$Q = \frac{D_{\max} - D_{\min}}{D_{\text{ном}}} \cdot 100 \quad (1.1)$$

де $D_{\text{макс}}$, $D_{\text{мін}}$, $D_{\text{ном}}$ – максимальний, мінімальний та номінальний зовнішні діаметри труб в місці згину.

Окрім утворення овальності при згинанні, особливо тонкостінних труб, на увігнутій частині згину іноді виникають складки (гофри). Овальність і складкоутворення негативно позначаються на роботі трубопроводу, оскільки вони зменшують прохідний переріз, збільшують гідравлічний опір і є зазвичай місцем засмічення і підвищеної корозії трубопроводу, [2].

Відповідно до вимог Держміськтехнагляду радіуси згинання сталевих труб, колін, компенсаторів і інших зігнутих елементів трубопроводів мають бути не менше наступних величин:

- 1) при згинанні з попереднім набиванням піском і з нагріванням – не менше $3,5D_{\text{н}}$,
- 2) при згинанні на трубозгинальних верстатах в холодному стані без набивання піском – не менше $4D_{\text{н}}$,
- 3) при згинанні з напіврифленою складкою (з одного боку) без набивання піском з нагріванням газовими горілками або в спеціальних печах – не менше $2,5D_{\text{н}}$,
- 4) для крутозігнутих колін, виготовлених методом гарячого протягування або штампування, — не менше $1D_{\text{н}}$.

Допускається згинання труб з радіусом згинання менше вказаних в перших трьох пунктах, якщо спосіб згинання гарантує стоншення стінки не більше, ніж на 15% товщини, що вимагається за розрахунком.

На трубозаготівельних базах і заводах, а також монтажних майданчиках застосовуються наступні основні способи згинання труб:

- згинання в холодному стані на трубозгинальних верстатах і пристосуваннях;
- згинання в гарячому стані на трубозгинальних верстатах з нагріванням в печах або струмами високої частоти;

- згинання із складками;
- згинання в гарячому стані з набиванням піском.

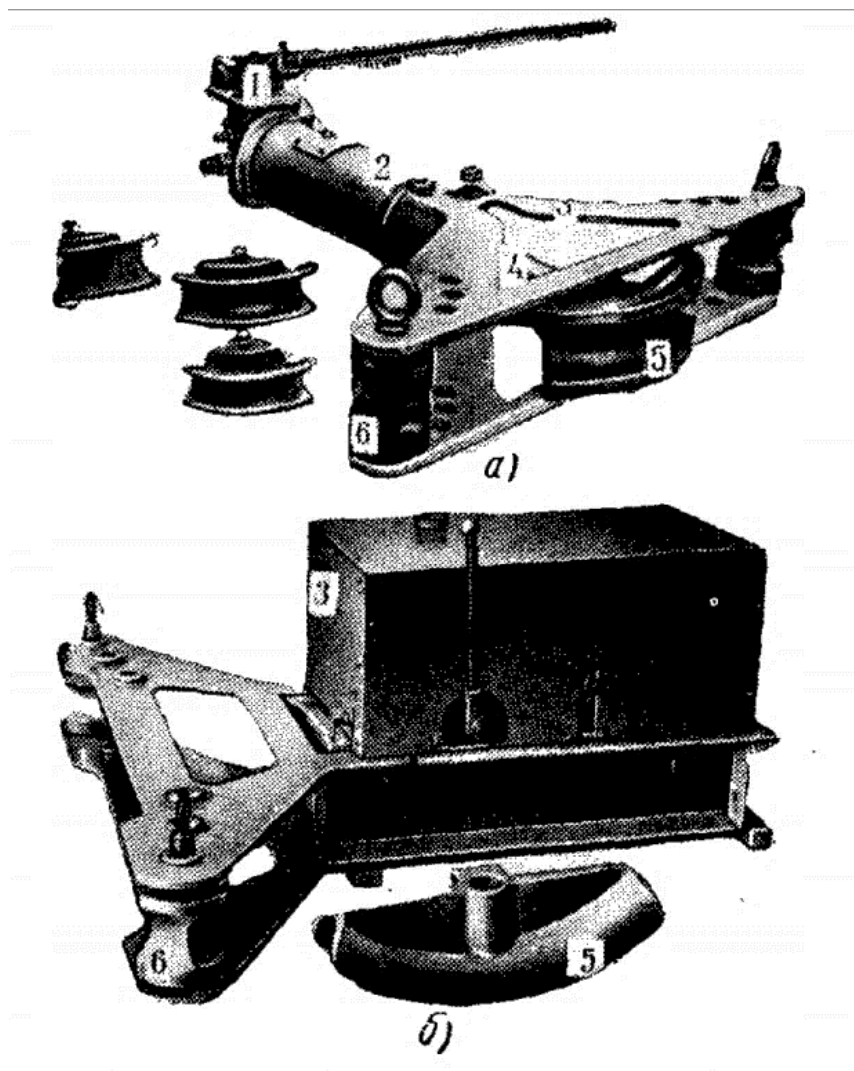
Спосіб згинання труб в холодному стані

Спосіб згинання труб в холодному стані отримав широке застосування при виготовленні і монтажі технологічних трубопроводів з умовним проходом до 150 мм. При холодному згинанні труб не треба набивати піском і нагрівати, внаслідок чого продуктивність праці в порівнянні з гарячим згинанням збільшується в 3-6 разів. Щоб уникнути сплюснення труби і втрати стійкості при згинанні в певному діапазоні діаметрів застосовують внутрішні оправки, що мають зовні виїмку (струмок) відповідно до розмірів труби, що згинається, або їх комбінації.

Існує багато конструкцій верстатів і пристосувань для згинання труб в холодному стані, але усі вони можуть бути зведені до трьох основних типів: на двох опорах, обкочуванню роликом і з внутрішньою оправкою (дорном).

Холодне згинання шляхом укладання труб на двох опорах і докладання зусилля, що згинає, всередині застосовують в основному для труб з умовним проходом до 100 мм, рідше понад 100 мм, [16]. Опори повинні бути виконані так, щоб вони могли обертатися навколо своїх осей у міру згинання труби. Згинальний сегмент в цих пристроях з'єднується з штоком гідравлічного або гвинтового домкрата. Верстати цього типу, що мають вигляд ручних переносних гідравлічних трубокзгинів, зручні при монтажних і ремонтних роботах, коли труби потрібно згинати безпосередньо на майданчику. На верстатах, що працюють за цією схемою, можна робити правлення і підгонку під необхідний розмір труб, зігнутих на інших верстатах, після їх термообробки. На подібних верстатах можна також згинати труби в різних площинах, [2].

Продуктивність верстатів цього типу порівняно невелика. Для згинання труб діаметром від 22 мм до 57 мм застосовують ручний гідравлічний трубозгин ТРГ- 50 показано на рисунку 1.19, а. У сталевому корпусі 3 трубозгина є гідравлічний циліндр 2 і шток 4. На одному кінці рухливого штока встановлений згинальний сегмент 5. Олія в циліндр нагнітається ручним насосом 1. У провушинах корпусу є отвори, в які встановлюють осі двох поворотних опор 6. Труби згинають таким чином: залежно від діаметру труби, що згинається, встановлюють сегмент і опори. Трубу укладають на опори і похитуванням рукоятки насоса подають олію в циліндр. Шток циліндра висувається і сегментом згинає трубу. Для повернення штока в початкове положення є пропускний клапан і поворотна пружина. Трубозгин забезпечений комплектом згинальних сегментів і опорних роликів для кожного діаметру труби, [5].



а - переносний з ручним приводом - ТРГ- 50; б - стаціонарний з електроприводом - ТГС- 127; 1 - ручний насос, 2 - циліндр, 3 - корпус, 4 - шток циліндра, 5 - згинальний сегмент, 6 - поворотна опора.

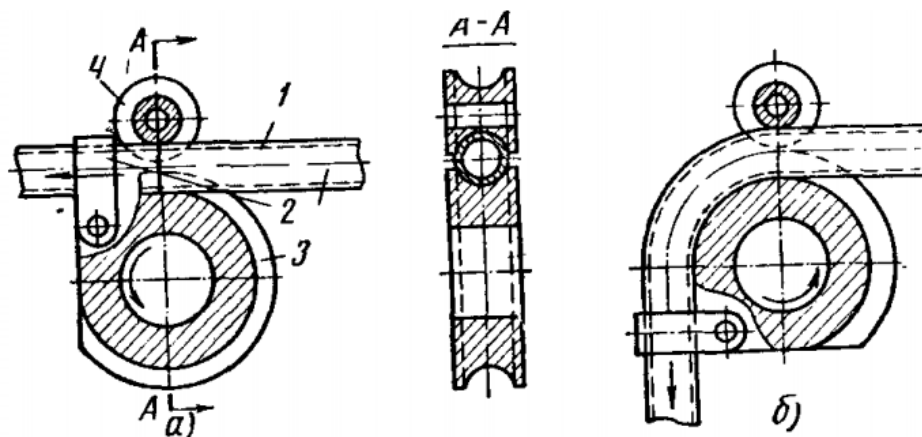
Рисунок 1.19 – Гідравлічні трубозгинальні верстати

Окрім ручних переносних трубозгинів, використовують стаціонарні трубозгини типу ТГС - 127 рисунок 1.19, б, що мають гідравлічний насос з приводом від електродвигуна. Трубозгин ТСГ - 127 призначений для згинання труб з умовним проходом від 70 до 125 мм.

Холодне згинання труб обкочуванням роликом застосовують для труб з умовним проходом до 70 мм, коли допускається деяка овальність перерізу. На рисунку 1.20 показана схема згинання труб з обкочуванням роликом, [18]. Труба 1 жорстко прикріплюється хомутом 2 до нерухомого згинального ролика 3, а обкочувальний ролик 4 переміщається по дузі навколо

згинального сегменту і згинає трубу. Для отримання якісного згину радіуси струмків згинального сегменту і обкочуючого ролика повинні точно відповідати зовнішньому діаметру труби, що згинається.

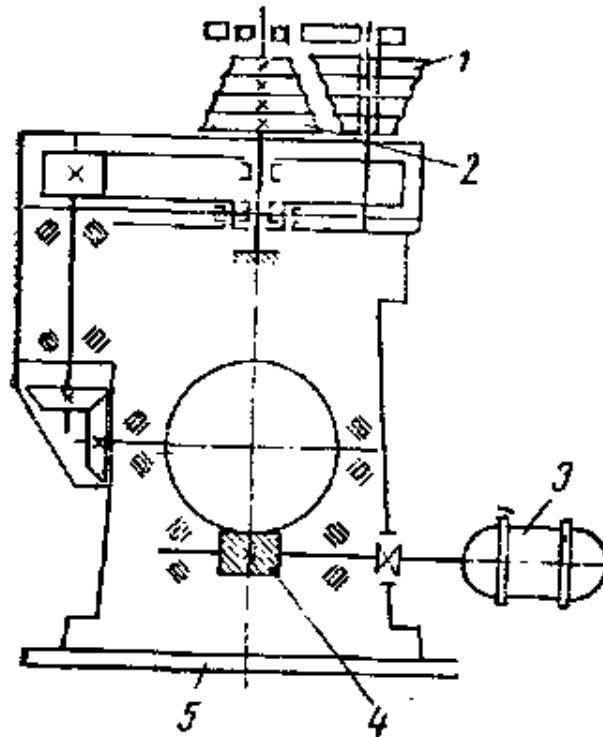
До цієї групи відносяться трубозгинальні верстати типу СТВ і ВМС - 23. Однострумкові верстати СТВ - 1/2, СТВ - 3/4 і СТВ - 1 призначені для згинання труб діаметром до 25 мм. Верстати мають скобу, в осях якої встановлений згинальний сегмент, що обкочує ролик і хомут для закріплення труби. Трубу, що згинається, встановлюють в струмок згинального сегменту і обкочуючого ролика так, щоб її кінець увійшов до хомута. При обертанні скоби обкочуючий ролик огинає трубу навколо згинального сегменту на необхідний кут.



а - положення на початку згинання, б - положення в - кінці гнуття; 1 - труба, що згинається, 2 - хомут, 3 - згинальний ролик, 4 - обкочувальний ролик;

Рисунок 1.20 - Схема згинання труб з обкочуванням роликом:

На рисунку 1.21 представлений приводний трубозгинальний чотирьохструмковий механізм ВМС – 23, який призначений для згинання труб з умовним проходом 15-32 мм.



1 – обкатуючий ролик; 2 – згинальний сегмент; 3 – електродвигун; 4 – черв'ячний редуктор; 5 – станина.

Рисунок 1.21 – Схема трубозгинального механізму ВМС – 23

Він працює за тим же принципом, що і верстати типу СТВ. Трубу, що згинається, заводять у відповідний її діаметру струмок між згинальним сегментом 2 і обкочуючим роликом 1 і закріплюють хомутом. При включенні електродвигуна 3 обкочуючий ролик оббігає навколо згинального чотирьохструмкового сегменту 2 і згинає трубу.

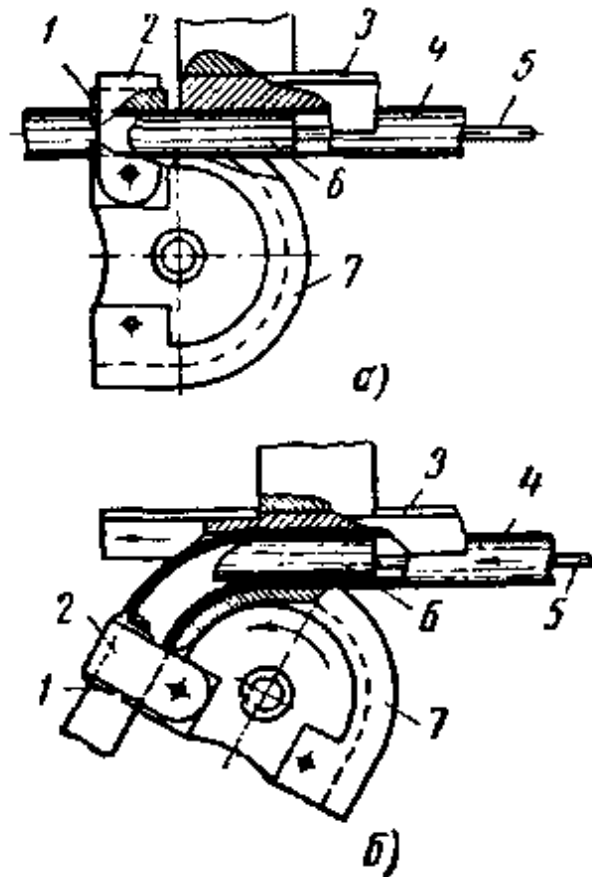
В процесі згинання труба набуває овальної форми і іноді з'являються гофри. Щоб уникнути цих недоліків в місці згину всередину труби вводять оправку (дорн).

Верстати, з *внутрішніми оправками* широко застосовують для згинання труб діаметром від 57 до 159 мм; ці верстати забезпечують високу якість згинання показано на рисунку 1.22: трубу 4 надягають на штангу 5 з внутрішніми оправками 6 (дорном), кінець труби затискають між згинальним диском 7, що має напівкільцеву виточку (струмок), і вкладишем 1 з такою ж напівкільцевою виточкою за допомогою скоби 2. Вкладишем труба

притискається до згинального диска і міцно утримується в струмку. Правильне положення труби відносно згинального диска забезпечує повзун 3. В процесі згинання диск, обертаючись, захоплює за собою трубу, стягуючи її внутрішньою оправкою 6, і труба, притиснута до повзуна за рахунок сили тертя, просуває його вперед. Внутрішня оправка, яка знаходиться в місці згину в процесі усього згинання, залишається нерухомою і оберігає трубу від утворення овальності і гофр. Внутрішня оправка зазвичай з'єднується з штангою 5, довжина якої визначається завдовжки труби-заготівки. Для отримання якісного гнуття необхідно, щоб згинальний диск 7, вкладиш 1 і оправка 6 відповідали розмірам труби, що згиналася 4. Радіус згинального диска підбирають відповідно до заданого радіусу згинання. Струмки в диску і вкладиші мають бути на 1-2 мм більше зовнішнього діаметру труби. По конструкції внутрішні оправки можуть бути суцільні і складені.

Для згинання в холодному стані труби необхідно заздалегідь підготувати. Труби мають бути обов'язково відпалені. Тому при замовленні труб для холодного згинання в технічних умовах необхідно передбачити постачання сталевих труб в стані, що відпалює. Труби, що надходять в цех, особливо сталеві, перед згинанням очищають від бруду, окалини та іржі.

Істотними недоліками згинання труб в холодному стані є обмеження радіусу згинання труб (не менше $3,5D_n$), необхідність наявності великої кількості змінного оснащення і складність переналагодження устаткування, особливо верстатів з внутрішніми оправками. Для кожного зовнішнього діаметру труби і радіусу згинання потрібен свій згинальний диск; крім того, для кожного внутрішнього діаметру труби - 2-3 оправки (з урахуванням поля допусків на діаметр). У зв'язку з цим потрібний строгий підбір сортаменту труб, що згинаються, за діаметром і товщиною стінки, а також за радіусами згинання.



а – положення на початку згинання; б – положення в кінці згинання; 1 – вкладиш; 2 – скоба; 3 – повзун; 4 – згинаюча труба; 5 – штанга; 6 – внутрішня оправка; 7 – згинаючий диск.

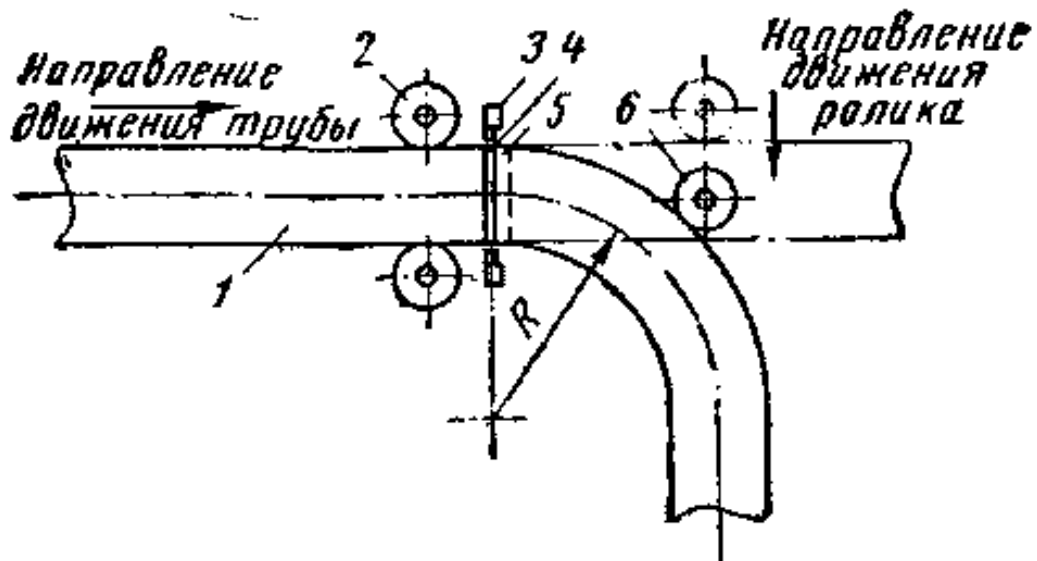
Рисунок 1.22 – Схема згинання труб з внутрішньою оправкою

Спосіб згинання труб в гарячому стані

Існує три основні способи згинання труб в гарячому стані: з нагріванням струмами високої частоти (СВЧ); гладке з наповнювачем і згинання зі складками (гофрами) без наповнювача. Два останні способи мають низьку продуктивність, високу трудомісткість і вимагають великих виробничих площ, тому використовують їх у виняткових випадках, коли інші способи неможливі, [2].

Останнім часом на трубозаготівельних базах і заводах усе більш широко здійснюють згинання труб з нагрівом струмами високої частоти (СВЧ). Суть цього способу згинання полягає у безперервно-послідовному

зональному згинанні невеликої ділянки труби, що нагрівається в індукторі під дією швидкозмінного електромагнітного поля, створюваного СВЧ, [15].



1 – згинаюча труба; 2 – направляючі ролики; 3 – індуктор; 4 – ділянка нагрівання та згинання труби; 5 – зона охолодження труби; 6 – згинаючий ролик.

Рисунок 1.23 – Схема згинання труб з нагрівом СВЧ:

Трубу 1 показана на рисунку 1.23 встановлюють між направляючими роликми 2 і закріплюють в затисках, яким притаманне подовжнє переміщення. Труба просувається через кільцевий охоплюючий індуктор 3, сполучений з трансформатором, який живиться від машинного генератора СВЧ. При проходженні через індуктор окремі ділянки труби (ділянка 4) послідовно нагріваються до $900-1100^{\circ}\text{C}$, тобто до температури, при якій метал стає найбільш пластичним.

Радіус згинання труби контролюють шаблоном або радіусокутоміром. Згинати труби можна на верстатах з будь-яким радіусом кривизни при кутах згинання більше 180° без зміни оснащення. Спосіб згинання труб з нагрівом СВЧ є одним з найбільш ефективних способів виготовлення зігнутих елементів і вузлів, особливо для товстостінних трубопроводів високого тиску і трубопроводів з легованої сталі.

В порівнянні з холодним згинанням він має наступні переваги: скорочується час на налаштування верстата, відпадає необхідність в громіздкому і дорогому змінному оснащенні (згинальні диски, вкладиші, оправки), зменшується величина овальності, можливість утворення складок (гофр), створюється можливість згинання труб в різних площинах.

Недолік цього способу полягає в тому, що не можна отримати згинання малих радіусів ($1,5D_n$ і $2D_n$) без стоншування стінки; крім того, потрібно велика витрата електроенергії.

Для *гладкого згинання труб в гарячому стані* з наповнювачем застосовують тільки чистий річковий пісок, що просушений і просіює через сито з осередками $1,5 \times 1,5$ мм. Річковий пісок навідріз від гірського не містить сторонніх домішок, які можуть пригоріти до внутрішніх стінок. Для згинання обладнали спеціальний трубозгинальний майданчик, на якому встановлюють: вишку з бункером для набивання труб піском, пристрій для нагрівання труб (горн або форсунки), згинальну плиту, дві лебідки вантажопідйомністю по 5тс для згинання труб і одну лебідку вантажопідйомністю 3тс для підйому і переміщення заготовок і зігнутих елементів, [2].

Згинання труб із складками застосовують для труб діаметром 200 мм і вище з товщиною стінки не більше 12 мм і тільки в тих випадках, коли такі зігнуті елементи дозволяється встановлювати на трубопроводі. Цей спосіб дешевший і простіший, ніж гладке гаряче згинання з наповнювачем. На трубі розмічають місця складок у вигляді ромбів у кількості 5-9 залежно від діаметру труби. Розмічені місця нагрівають газовим пальником до світло-вишневого кольору, після чого при згинанні вичавлюється перша складка. Подальші складки отримують так само. При згинанні один кінець труби закріплюють затискачем, а другий кінець сполучають через блок з лебідкою.

1.2.5. Метод прошовхування труби-заготовки через криволінійний канал матриці

Найбільш поширеною операцією виготовлення криволінійних деталей з труб є згинання. Ця операція здійснюється або в штампах, або на машинах валків, або в згинальних машинах і пристроях.

Розширити технологічні можливості процесу і виготовити виріб з мінімальним можливим радіусом кривизни дозволяє метод згинання трубною заготовки прошовхуванням в криволінійний канал матриці, [21]. Трубна заготовка, що має скоси на її торцях, прошовхується в криволінійний канал, діаметр якого дорівнює діаметру початкової трубною заготовки. Геометрія криволінійного каналу відповідає геометрії готового виробу.

Метод згинання прошовхуванням відомий з середини минулого століття, але до теперішнього часу в технічній літературі недостатньо відомостей про особливості деформації трубною заготовки, про граничні параметри формозмінення, [20].

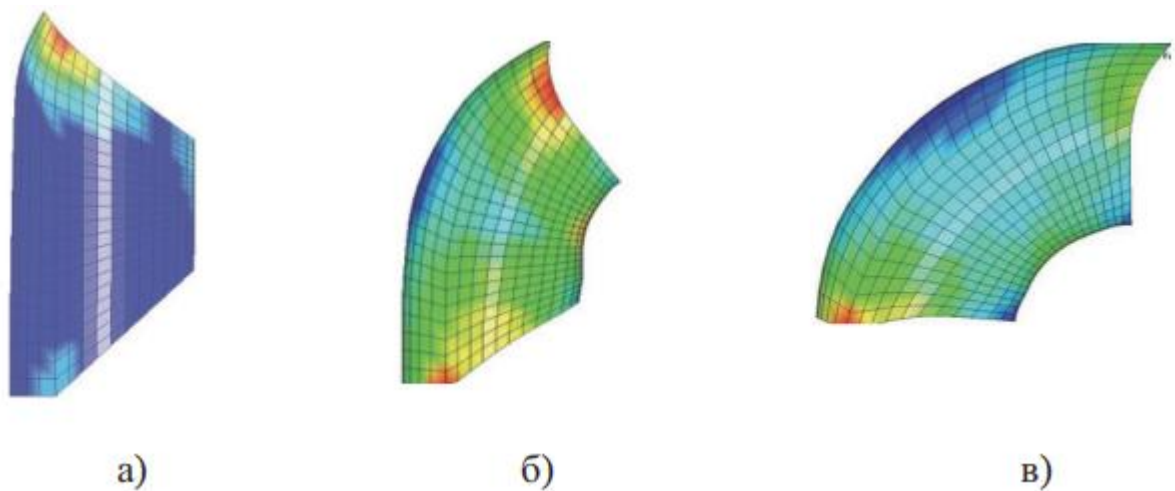
Аналітичне визначення напружено-деформованого стану заготовки в процесі згинання прошовхуванням, без грубої схематизації процесу, є складним завданням. Осередок деформації має нестационарний характер. Змінюються його межі і граничні умови. Напружено-деформований стан заготовки змінюється як в часі, так і при переході від точки до точки.

У цьому дослідженні, для визначення напружено-деформованого стану заготовки, використовується моделювання процесу формоутворення.

Деформаційне зміцнення матеріалу в процесі формоутворення описується кривою зміцнення, отриманою при випробуванні зразка на одновісне розтягування, [19]. Кривизна заготовки, що деформується, характеризується відносним радіусом кривизни $R_{\text{від}}$, який визначається як відношення радіусу середньої поверхні зігнутого виробу $R_{\text{ср}}$ до його зовнішнього діаметру $D_{\text{зов.}}$:

$$R_{\text{від}} = \frac{R_{\text{сф}}}{D_{\text{н}}} \quad (1.2)$$

Як приклад на рисунку 1.24 показані різні етапи моделювання процесу згинання проштовхуванням при відносному радіусі кривизни виробу $R_{\text{від}}=1$.



а – початковий етап; б – модель заготовки при згинанні на 60° ; в – на 90° .

Рисунок 1.24 – Етапи моделювання процесу формозмінення коліна

Результати моделювання показали, що процес формоутворення відведення проштовхуванням в матрицю має свої особливості. Процес здійснюється по складніших закономірностях, ніж процес звичайного згинання. Одночасно відбуваються два процеси: згинання і подовжнє зрушення елементів заготовки, [19]. Наявність зсувних деформацій, що розвиваються в осьовому напрямку, зменшує величину деформацій в зонах розтягування і стискання. Змінюється картина деформованого стану заготовки. Стає можливим згинання заготовки на менший радіус.

Чебишевим створена теорія найкращого наближення функцій, [22]. Апроксимуючі поліноми з використанням ортогональних поліномів Чебишева, мають цілий ряд чудових властивостей. Використання ортогональних поліномів Чебишева дозволяє побудувати узагальнений поліном з необхідною точністю, але коротший, ніж існуючі поліноми. Це

зручніше для обчислень. Розкладання сходиться швидше, ніж при використанні інших поліномів. Для досягнення необхідної точності многочлен Чебишева має значно меншу міру.

Таким чином, використання ортогональних поліномів Чебишева при обробці результатів моделювання процесу згинання проштовхуванням, дозволило встановити закономірність зміни товщини по контуру згинання заготовки.

1.2.6. Секторний метод

При централізованому виготовленні трубопроводів в умовах трубозаготівельних цехів і майстерень необхідно застосовувати труби і деталі заводського виготовлення. Зварні труби в трубозаготівельних цехах виготовляють в тих випадках, коли вони відсутні в стандарті і не поставляються трубопрокатними заводами, [3] Так, наприклад, виготовляють тонкостінні труби з нержавіючих і інших легованих сталей з умовним проходом від 150 мм і більше, труби з алюмінію і його сплавів з умовним проходом більше 100 мм, з міді і її сплавів.

Технологічний процес виготовлення зварних труб складається з наступних операцій:

- правлення,
- розмічування і різання листового металу,
- підзагинання кінців заготовки по радіусу,
- вальцювання або згинання по діаметру,
- складання і зварювання повздовжнього шва вальцьованої обичайки,
- складання і зварювання кільцевих швів.

Штамповзварювальні коліна мають піддаватися обов'язковому гідравлічному випробуванню за пробного тиску в обсязі 100%. Допускаються

гідравлічні випробовування замінювати стовідсотковою перевіркою зварних швів радіаційним контролем або ультразвуковою дефектоскопією.

Підзагинання кінців заготовки по радіусу, якщо немає гідравлічного пресу, проводять на спеціальних пристроях за допомогою гідравлічних домкратів. Вальцювання обичайок виконують на приводних або ручних згинальних вальцях. Повздовжній стик обичайки збирають за допомогою стяжних хомутів і інших пристосувань. Повздовжні шви обичайки зварюють автоматами, тому складання стику потрібно виконувати дуже ретельно. Для зварювання зсередини подовжнього шва труб з умовним проходом понад 300 мм застосовують модернізований автомат АДФ – 500 [26], у якого механізм подання дроту зі струмознімальним мундштуком і бункер для флюсу укріплені на спеціальній штанзі. Довжину штанги вибирають залежно від довжини обичайки. Ходова частина автомата пересувається по направляючих.

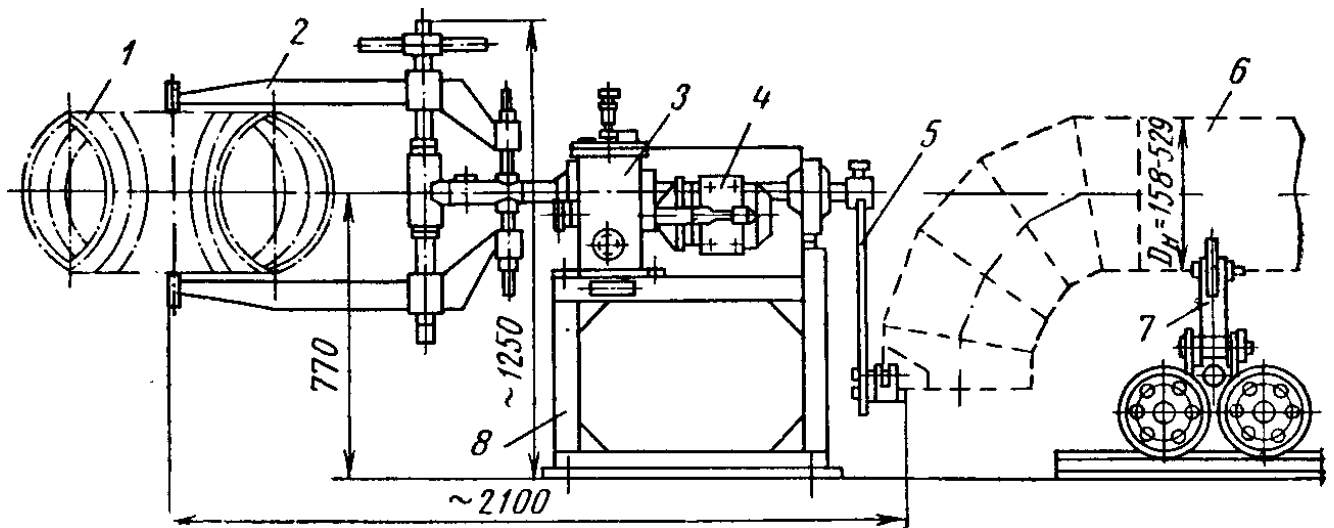
Труби з обичайок збирають на роликівих складальних стелажах, що забезпечують хороше центрування осей, що виключають перелом, в стиках.

Кільцеві шви зварюють також автоматично, для чого роликові складальні стелажі забезпечують приводом.

Процес виготовлення зварних відводів складається з розмічення труб, різання секторів, їх складання і зварювання, [3].

Розмічають труби на сектори по шаблонах і тільки у тому випадку, коли відсутні спеціальні верстати для фасонного газополум'яного різання труб. В деяких випадках труби різуть на сектори механічним способом на токарних верстатах із застосуванням спеціальних копірних пристроїв. При складанні зварних колін з окремих секторів головну увагу потрібно звертати на якість сполучень кромки і зварювання. Різниця в товщині стінки труб і секторів, підготовлених до зварювання, а також зміщення їх кромки одна відносно іншої не повинні перевищувати 10% товщину стінки. Щоб забезпечити правильне положення секторів при складанні, їх розташовують в одній площині, для чого використовують спеціальний кондуктор.

Кондуктор є плитою, в якій є різьбові отвори для встановлення стійок з призм. Призми є настановною базою для секторів. Після вивіряння положення секторів роблять прихватку. Величину проміжку і кількість прихваток вибирають з урахуванням матеріалу і товщини стінки відведення. Зварюють відведення автоматичним або напівавтоматичним способом.



1 - зварюваний секційний колін, 2 - важільне захоплення, 3 - редуктор, 4 - електродвигун, 5 - повідковий патрон, 6 - приварювана труба, 7 - настановний візок, 8 - станина.

Рисунок 1.25 - Установа для зварювання секційних колін і приварювання їх до труб

Для напівавтоматичного зварювання секційних колін і приварювання їх до труб можна використати спеціальну установку. Установка складається зі зварної станини 8, на якій встановлений редуктор 3 з приводом від електродвигуна 4. На валу редуктора з двох сторін укріплені важільне захоплення 2 і повідковий патрон 5. При зварюванні колін з трубою використовується настановний візок 7. Зварювання робиться за допомогою напівавтоматів ПДШП- 500, ПШ- 5 та ін. [26], що закріплюються на спеціальному штативі-візку поряд з установкою.

Якщо ж зварюється секційне коліно, то він встановлюється у важільному захопленні, що обертається, так, щоб зварюваний шов знаходився у вертикальній площині.

1.3 Висновок

В ході виконання першого розділу магістерської роботи був проведений літературний аналіз, в якому розглянуті різні методи виготовлення крутозігнутих колін.

Перший метод розглянутий це — метод гарячого протягування по рогоподібній вставці. З економічної точки зору цей метод є дуже затратним. Так як використовується електроенергія для нагріву осердя та для того щоб працювало обладнання, яка є не дуже дешевою.

Другий метод штампування труб також є не менш затратний від першого. Також використовується електроенергія, потрібне масло для обладнання, потрібне оснащення, що також є затратним, так як матеріал для виготовлення цього оснащення є дорогим.

Третій метод штампування з листа – в цьому методі витрати такі як і в другому.

Четвертий метод згинання труб – в ньому є також затрати на електроенергію, витрати на обладнання та оснащення яке є покупним тому витрати ідуть дуже великі.

П'ятий метод прошовування труби-заготовки через криволінійний канал матриці. Цей метод є найменш затратним так як використовується електроенергія тільки для того щоб працювало обладнання.

Шостий секторний метод – він також дуже не економічний. В ньому використовується електроенергія, використовуються електроди для

зварювання труб між собою в сектори. Також витрати для виробництва цих труб.

Тому метод прошовхування труби-заготовки через криволінійний канал матриці ми використовували в проведенні дослідження для магістерської роботи.

2 ОБЛАДНАННЯ, ЯКЕ ВИКОРИСТОВУВАЛОСЬ ПРИ ПРОВЕДЕННІ ДОСЛІДЖЕНЬ

Для проведення експериментальних використовувалось таке обладнання:

- прес кривошипний КА2330;
- прес гідравлічний ПГ-100А;
- прес гідравлічний П481А;
- нагрівальна муфельна піч.

2.1 Прес кривошипний КА2330

Кривошипний прес – машина з кривошипно-шатунним механізмом, призначена для штампування різних деталей.

Прес однокривошипний КА2330 простої дії, відкритий, нахилиючий, зусиллям 1000кН призначений для виконання різних операцій холодного штампування: вирубування, згинання, пробивання, обрізання, витягування, формування та ін., переважно у складі переналагоджуваних автоматичних ліній, [28]. Завдяки своїй універсальності застосовується на підприємствах машинобудівної, автомобільної, авіаційної, радіотехнічної промисловості і інших галузей народного господарства. На рисунку 2.1 показаний загальний вид пресу КА2330, на рисунку 2.2 – габаритні розміри однокривошипного пресу КА2330.

Робочою частиною (інструментом) пресу є штамп, нерухому частину якого кріплять до столу, рухливу - до повзуна пресу. Повзун переміщається кривошипно-шатунним механізмом. За один оборот кривошипа шатун

здійснює повний хід, під час якого при русі повзуна вперед відбувається штампування.

Зусилля пресу створюється за рахунок крутячого моменту, передаючого кривошипному валу електроприводом. Привід однокривошипного пресу простої дії складається: з електродвигуна, маховика, муфти включення, гальма та понижуючої зубчастої передачі, від якої обертання передається кривошипному валу. Електродвигун обертає маховик, за рахунок сили інерції якого на кривошипному валу виникає крутячий момент. Прес може працювати в режимі поодиноких ходів, тобто з виключенням муфти після кожного повного ходу, або в автоматичному режимі, коли муфта включена постійно.

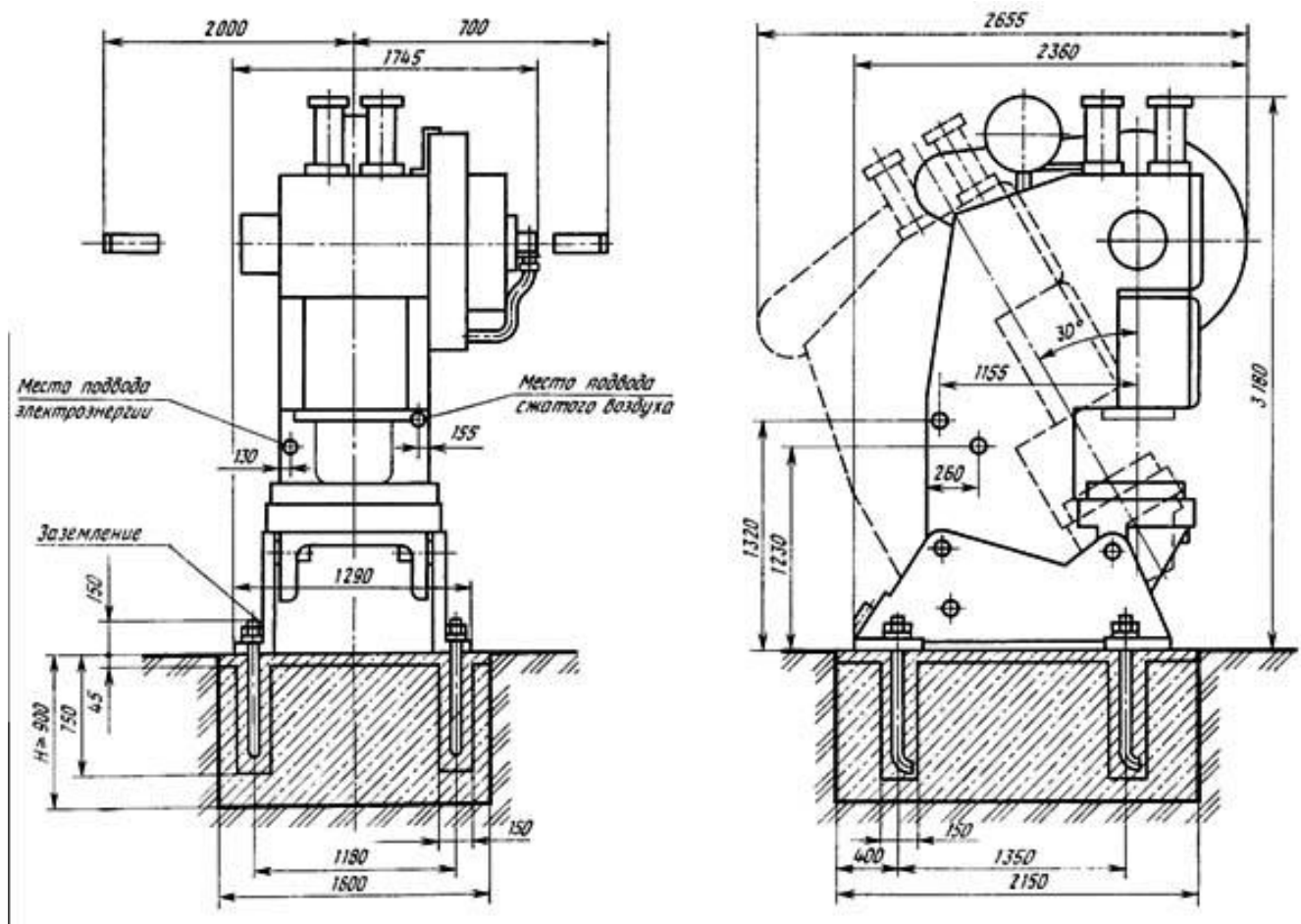


Рисунок 2.1 – Габаритні розміри однокривошипного пресу КА2330



Рисунок 2.2 – Загальний вид однокривошипного преса КА2330

В таблиці 2.1 наведені деякі технічні характеристики преса КА2330.

Таблиця 2.1 – Технічні характеристики преса КА2330

Назва параметру	КА2330
Номінальне зусилля преса, кН (т)	1000 (100)
Найбільший хід повзуна (штока), мм	10...130
Електродвигун головного привода, кВт	10
Габарити преса (довжина, ширина, висота), мм	1745x2360x3180
Маса преса, кг	9015

Кінематична схема – це графічна схема, на якій показана послідовність передачі руху від двигуна через передавальний механізм до робочих органів машини і їх взаємозв'язок.

На кінематичних схемах зображують тільки ті елементи (ланки) машини або механізму, які беруть участь в передачі руху (зубчасті колеса, ходові гвинти, вали, шків, муфти та ін.) без дотримання розмірів і пропорцій.

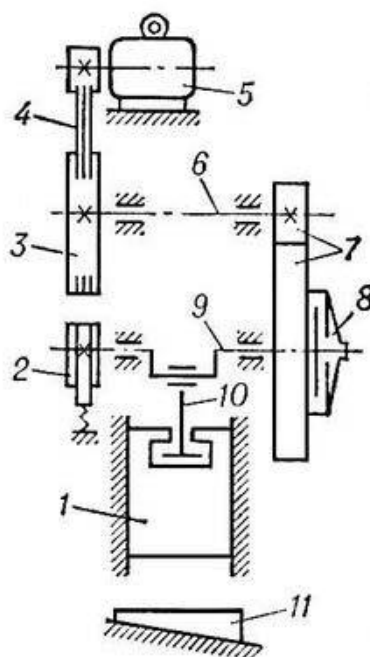


Рисунок 2.3 – Кінематична схема однокривошипного пресу КА2330

Кінематична схема однокривошипного пресу простої дії:

1. повзун;
2. гальма;
3. маховик;
4. клинопасова передача;
5. електродвигун;
6. передаточний вал;
7. зубчата передача;
8. муфта;
9. кривошипний вал;
10. шатун;
11. плита для закріплення матриці штампу.

2.2 Прес гідравлічний ПГ-100А

Прес гідравлічний випробувальний на 100т. тип ПГ-100А — це контрольно-вимірний пристрій, який зображений на рисунку 2.4. Точність показників преса характеризується середньою відносною похибкою відхилення дійсного навантаження в межах $\pm 1\%$ для кожної перевіряючої точки, що відповідає вимогам інструкції вимірюючих приборів.

В таблиці 2.2 вказані технічні характеристики гідравлічного пресу ПГ-100А.

Таблиця 2.2 – Технічні характеристики преса 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 2.4 – Загальний вид гідравлічного пресу ПГ-100А

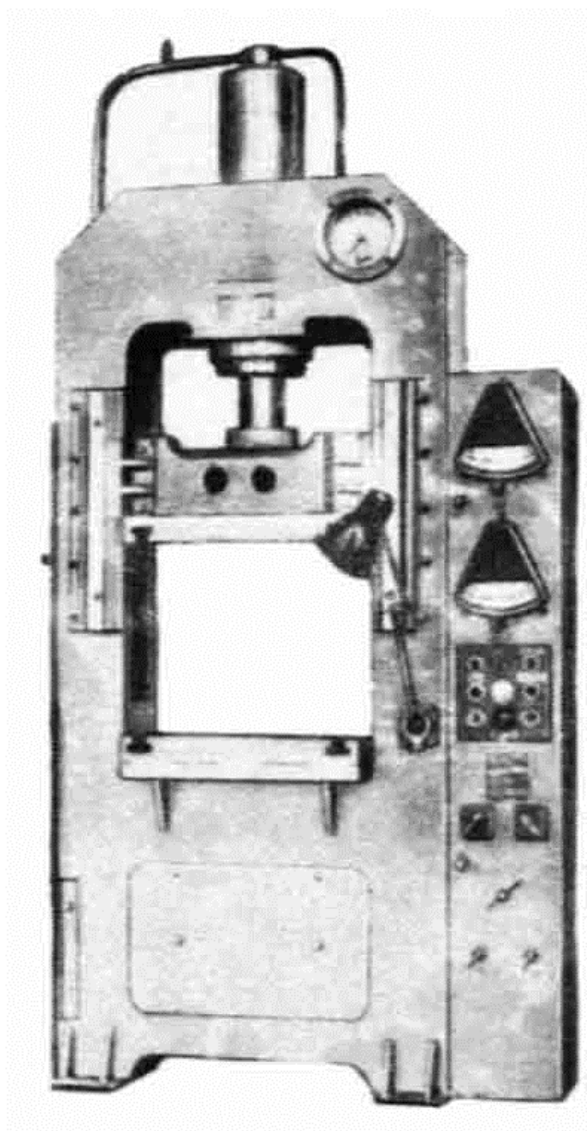
Прес призначається для статистичних випробувань на стискування, поперечне і повздовжнє згинання деталей, вузлів конструкцій і зразків з металу і металевих матеріалів. Прес дозволяє здійснювати випробування на стискування і повздовжнє згинання при навантаженнях до 100т і поперечне згинання при навантаженнях до 7,5т.м, [29].

2.3 Прес гідравлічний П481А

Гідравлічний прес — це гідравлічна машина, в якій за допомогою гідравлічного циліндра створюється велика стискаюча сила. Гідравлічний прес використовує гідравлічний еквівалент механічного важеля. Використовується для обробки матеріалів тиском.

Прес гідравлічний моделі П481А виконаний вертикальним, який зображений на рисуюнок 2.5. Гідроагрегат монтується на фундаменті зліва від пресу і з'єднується з ним трубами. Апаратура пресу передбачає роботу пресу на напівавтоматичних режимах і забезпечує спостереження за обігрівом прес-форм і тиском рідини, а також автоматичне регулювання температури обігріву, [30].

Гідравлічна схема — це технічний документ, що містить у вигляді умовних графічних зображень чи позначень інформацію про будову виробу, його складові частини та взаємозв'язки між ними, дія якого ґрунтується на використанні енергії стисненої рідини (газу).



Рисуюнок 2.5 – Загальний вид гідравлічного пресу П481А

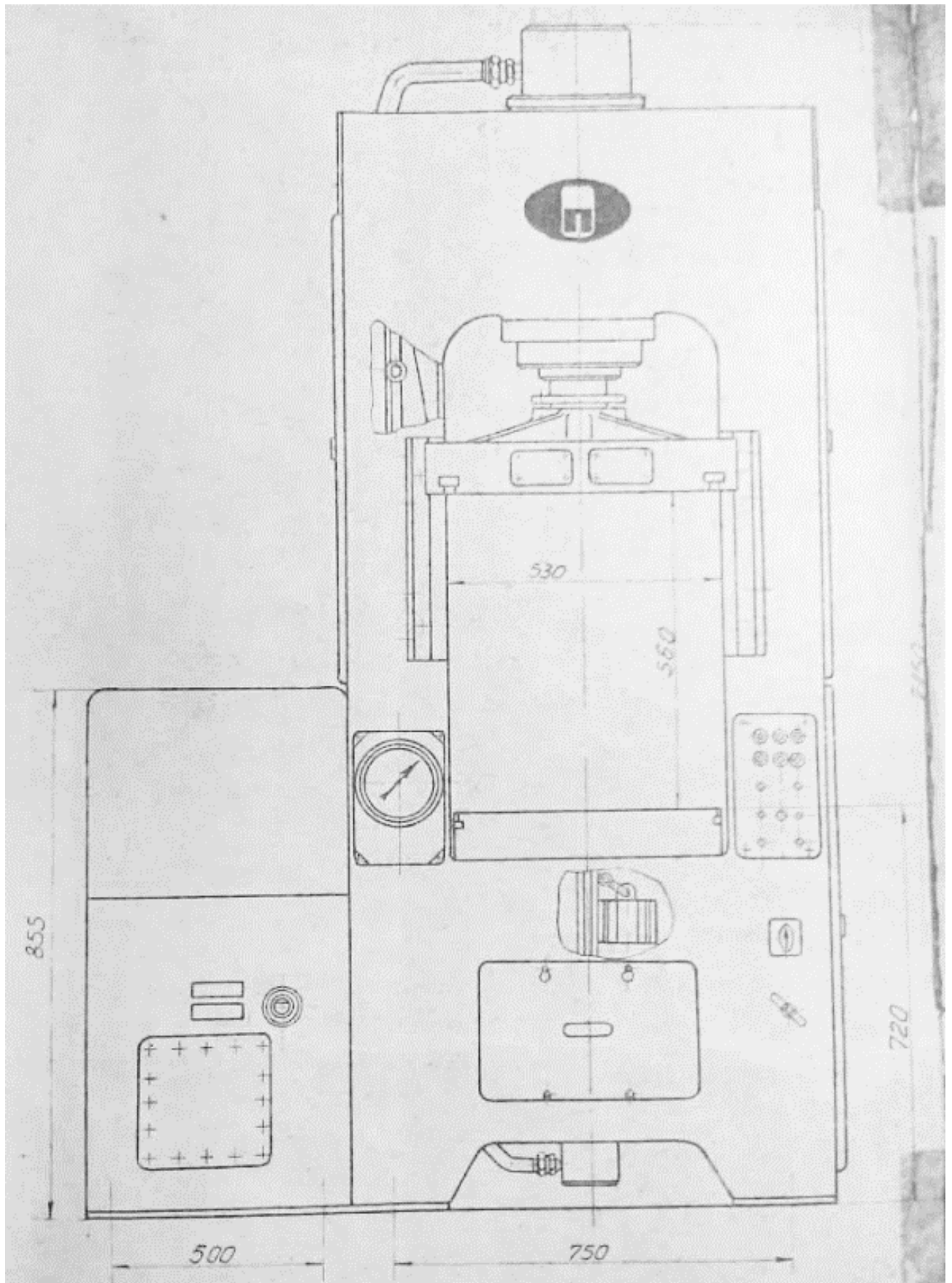


Рисунок 2.6 – Габаритні розміри гідравлічного преса П481А.

Гідравлічна схема гідравлічного пресу П481А передбачає:

- перемикання шестерінчастого насоса на злив примусово, від включення 4 електромагніти з пілотом управління і автоматично при підвищенні тиску в системі вище $15\text{кгс}/\text{см}^2$ через розвантажувальний клапан. Від системи, при підвищенні тиску понад $15\text{кгс}/\text{см}^2$ потік шестерінчастого насоса відсікається зворотним клапаном;
- підпирний клапан для оберігання опускання рухливих частин пресу під власною вагою;
- запірний клапан для створення повної герметичності в робочій порожнині головного циліндра у момент пресування;
- зереливши з штокової порожнини головного циліндра в робочу для збільшення швидкості опускання повзуна через зворотний клапан;
- демпферний отвір сполучає штоковою порожнину із зливом у момент пресування, що усуває проти тиск у момент пресування;
- можливість підкочування масла в робочу порожнину головного циліндра, у разі падіння тиску у момент пресування;
- запобіжний клапан, що регулює тиск на лінії штокової порожнини головного циліндра до $150\text{кгс}/\text{см}^2$;
- запобіжний клапан регулює робочий тиск до $320\text{кгс}/\text{см}^2$;
- клапан регулює тиск в мережі управління в межах $10\text{-}15\text{кгс}/\text{см}^2$;
- золотник перемикання — направляючий потік масла поперемінно то в головний циліндр, то в циліндр виштовхувача;
- золотник реверсу забезпечує реверс головного циліндра і циліндра виштовхувача. Розділ потоку насоса високого тиску на два: від одного поршня в ланцюг управління, від двох поршнів в мережу. Залежно від технології виготовлення деталі вибирається режим роботи пресу. Ручка режимного перемикача встановлюється в потрібне положення, згідно таблиці на лицьовій стороні пресу. Заздалегідь, на налагоджувальному режимі регулюється робочий тиск зупинки повзуна і підпресувань, час витримки пресування, хід повзуна і виштовхувача. Електродвигун з насосами

включаються натисненням кнопки «Пуск». Натисненням на кнопку «Повзун вниз» включається робочий цикл пресу на кнопку «Виштовхувач вниз» опускається виштовхувач. Цикл закінчений. Після продування прес форми і завантаження її порошком і пігулками для виконання наступного циклу слід натиснути на кнопку «Робота».

Схема розподілу потоків преса П481А показана на рисунку 2.8

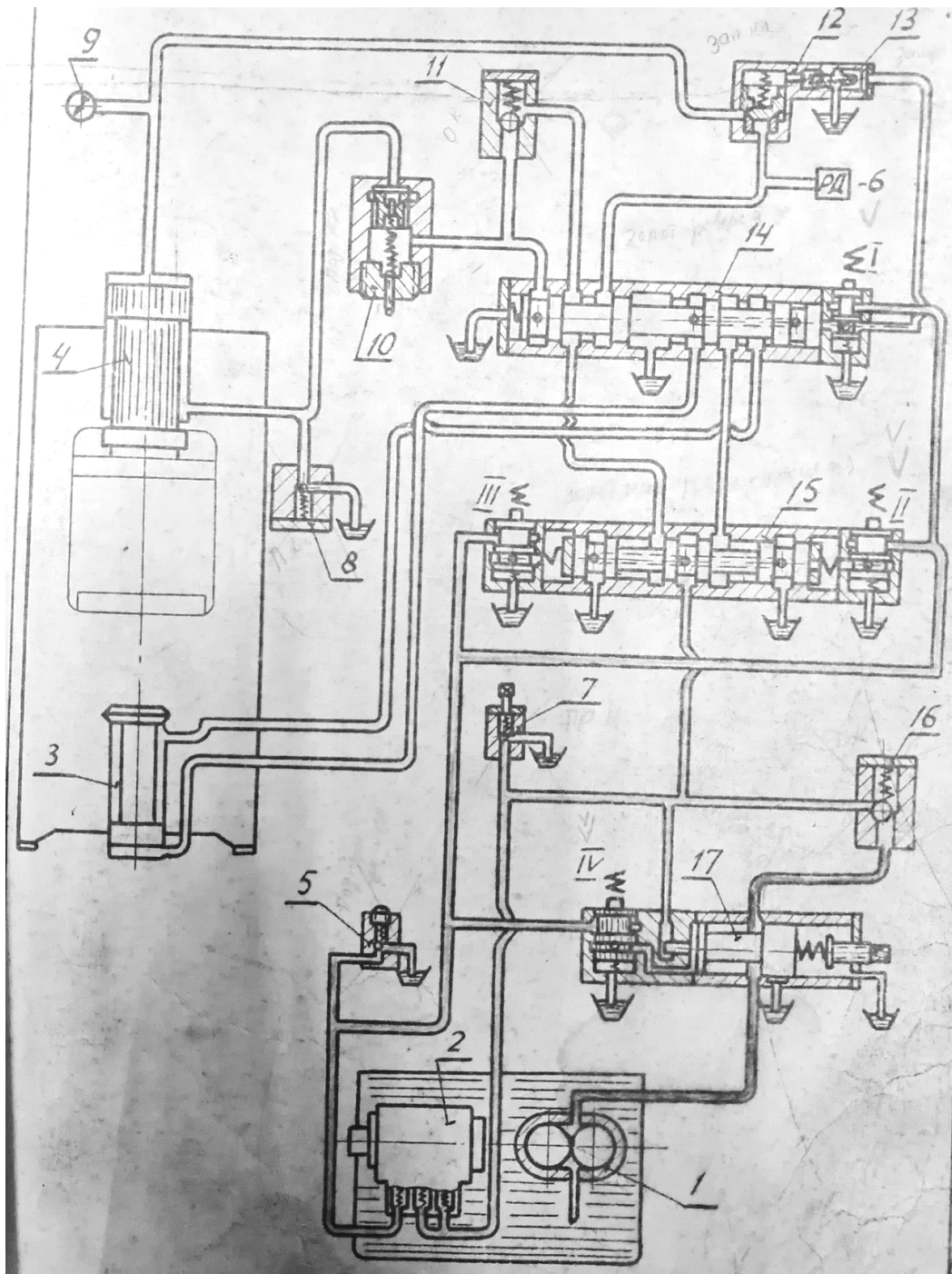


Рисунок 2.8 – Схема розподілу потоків гідравлічного преса П481А

Позначення до схеми потоків гідравлічного преса П481А:

- 1-шестерний насос;
- 2-поршневий насос;
- 3-циліндр виштовхування;
- 4-головний циліндр;
- 5-підпирний циліндр;
- 6-реле тиску;
- 7-запобіжний клапан;
- 8-запобіжний клапан;
- 9-електроконтактний манометр;
- 10-підтримуючий клапан;
- 11-зворотній клапан;
- 12-запирний клапан;
- 13-запирний клапан (поршень);
- 14-золотник реверса;
- 15-золотник перемикача;
- 16-зворотній клапан;
- 17-розвантажувальний золотник.

В таблиці 2.3 подані характеристики гідравлічного преса П481А.

Таблиця 2.3 – 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

Перевірочний розрахунок гідроприводу

1. Перевірочний розрахунок проводиться для згинання труби в холодному стані. Графік навантаження приймаємо трикутним.

2. Будуємо графік зусилля деформації на основі типового, зображеного на рисунку 2.9. Характерні точки для побудови: $P_{\max}=P_H=0,4$ МН, база деформації $\Delta x=ks=0,5 \cdot 20=10$ мм.

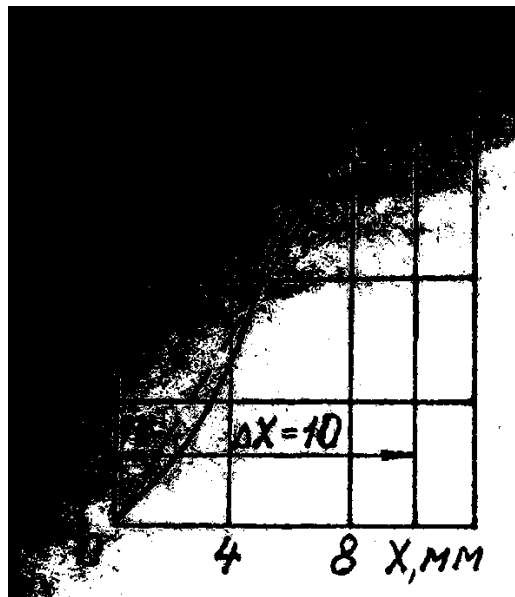


Рисунок 2.9 – Графік зусилля деформації

3. Будуємо графік жорсткості. Зобразимо його на рисунку 2.10.

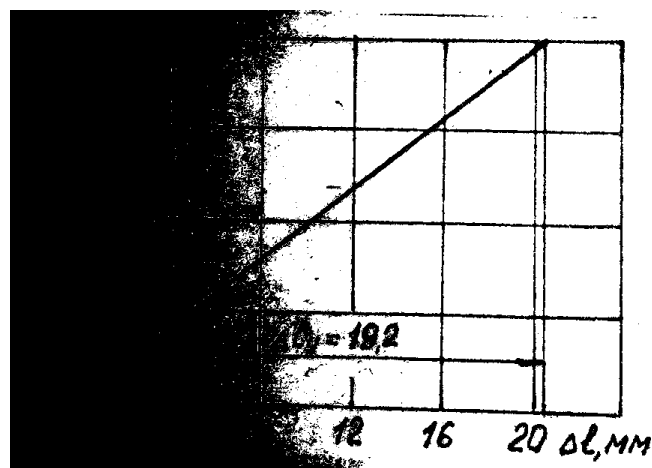


Рисунок 2.10 – Графік жорсткості

Пружна деформація жорсткості розраховується за формулою (2.1):

$$\Delta l_y = \frac{\Delta V_{\text{ц}}}{F_{\text{пл}}} \quad (2.1)$$

де $\Delta V_{\text{ц}}$ – приріст об'єма рідини за рахунок збільшення його внутрішнього діаметру та подовження уздовж осі; подовження колон та стискання рідини.

$$\Delta V_{\text{ц}} = \Delta V_{\text{ц1}} + \Delta V_{\text{ц2}} + \Delta V_{\text{ц3}} + \Delta V_{\text{ц4}} \quad (2.2)$$

де $\Delta V_{\text{ц1}}$ – приріст об'єма рідини в результаті зміни його внутрішнього діаметра;

$\Delta V_{\text{ц2}}$ – приріст об'єма рідини в результаті подовження його уздовж осі;

$\Delta V_{\text{ц3}}$ – додатковий об'єм рідини, компенсуючий розтяг колон;

$\Delta V_{\text{ц4}}$ – додатковий об'єм стискання рідини в циліндрі.

Визначимо додаткові об'єми.

Приріст об'єма рідини в результаті зміни його внутрішнього діаметра розраховуємо за формулою (2.3):

$$\Delta V_{\text{ц1}} = \frac{\pi \sigma_{\tau}^{\text{ц}}}{2E_{\text{ст}}} D_{\text{ц}}^2 L_{\text{ц}} \quad (2.3)$$

де $\sigma_{\tau}^{\text{ц}}$ – тангенціальна напруга на внутрішній стінці циліндра розраховується за формулою (2.4):

$$\sigma_{\tau}^{\text{ц}} = \frac{P_{\text{H}} r_{\text{B}}^2}{z_{\text{H}}^2 - z_{\text{B}}^2} \left(1 + \frac{z_{\text{H}}^2}{z_{\text{B}}^2} \right) = \frac{P_{\text{H}} (D_{\text{H}}^2 + D_{\text{ц}}^2)}{D_{\text{H}}^2 - D_{\text{ц}}^2} \quad (2.4)$$

Внутрішній діаметр циліндра розраховуємо за формулою (2.5):

$$D_{ц} = \sqrt{\frac{P_H}{0,785 P_H}} \quad (2.5)$$

$$D_{ц} = \sqrt{\frac{0,4 \cdot 10}{0,785 \cdot 3,2}} = 120 \text{ мм}$$

Визначаємо зовнішній діаметр за формулою (2.6):

$$D_H = D_{ц} \sqrt{\frac{[\sigma]}{[\sigma] - \sqrt{3} P_H}} \quad (2.6)$$

Приймаємо $[\sigma] = 120 \text{ МПа}$

$$D_H = 12 \sqrt{\frac{120}{120 - \sqrt{3} \cdot 32}} = 163 \text{ мм}$$

Довжина робочого циліндра $L_{ц}$. Приймаємо її рівною максимальному ходу рухомої поперечини: $L_{ц} = 40 \text{ см}$.

Тоді за формулою (2.4) визначаємо:

$$\sigma_{\tau}^{ц} = \frac{32(16,3^2 + 12^2)}{16,3^2 - 12^2} = 107,7 \text{ МПа}$$

За формулою (2.3) визначаємо приріст об'єма рідини за рахунок зміни його внутрішнього діаметра:

$$\Delta V_{ц1} = \frac{\pi \cdot 107,7}{2 \cdot 2,1 \cdot 10^5} 12^2 \cdot 40 = 20,5 \text{ см}^3$$

Приріст об'єма рідини за рахунок пружного подовження циліндра визначаємо за формулою (2.7):

$$\Delta V_{ц2} = P_H \frac{F_{ц}^2 L_{цр}}{E_N F_C} \quad (2.7)$$

де P_H – номінальний тиск; $P_H = 32$ МПа;

$F_{ц}^2$ – площа поперечного перетину циліндра;

$L_{цр}$ – довжина розтягуємої частини циліндра;

F_C – площа поперечного перетину циліндра, кільцева площа;

Тоді за формулою (2.7) визначаємо приріст об'єма рідини за рахунок пружного подовження циліндра:

$$\Delta V_{ц2} = \frac{3,2 \cdot 1,256^2 \cdot 40}{2,1 \cdot 10^4 \cdot 1067} = 9,01 \text{ см}^3$$

Додатковий об'єм рідини компенсуючий розтяг колон розраховуємо за формулою (2.8):

$$\Delta V_{ц3} = P_H \frac{F_{ц}^2 L_K}{E_M \Sigma F_K} \quad (2.8)$$

де ΣF_K – сумарна площа колон;

$$F_K = 0,785 D_K^2 n = 0,785 \cdot 15^2 \cdot 4 = 706,48 \text{ см}^2$$

За формулою (2.8) розраховуємо додатковий об'єм рідини компенсуючий розтяг колон

$$\Delta V_{ц3} = P_H \frac{3,2 \cdot 1,256^2 \cdot 200}{2,1 \cdot 10^4 \cdot 706,48} = 68,05 \text{ см}^3$$

Додатковий об'єм, компенсуючий стискання рідини в циліндрі та трубах визначаємо за формулою (2.9):

$$\Delta V_{ц4} = \frac{P_H}{E_{ж}} k_v V_{ц} \quad (2.9)$$

де $V_{ц}$ – внутрішній об'єм циліндру розраховуємо за формулою (2.10);

$$V_{ц} = F_{ц} L_{ц} \quad (2.10)$$

$$V_{ц} = 1256 \cdot 40 = 50240 \text{ см}^3$$

k_v – 1,2-1,3 – коефіцієнт, враховуючий мертвий об'єм циліндра та об'єм трубопроводів;

Тоді за формулою (2.9) розраховуємо додатковий об'єм, компенсуючий стискання рідини в циліндрі та трубах

$$\Delta V_{ц4} = \frac{3,2 \cdot 1,3 \cdot 50240}{1,6 \cdot 10,2} = 1306,24 \text{ см}^3$$

Сумарний додатковий об'єм розраховуємо за формулою (2.2):

$$\Delta V_{ц} = 20,5 + 9,01 + 68,05 + 1306,24 = 1413,53 \text{ см}^3$$

В результаті пружна деформація рідини розраховується за формулою (2.11):

$$\Delta l_{уж} = \frac{\Delta V_{ц}}{F_{ц}} \quad (2.11)$$

$$\Delta l_{\text{уж}} = \frac{1413,68}{1256} = 1,12 = 11,2 \text{ мм}$$

Компенсаційний хід можна назвати умовним, так як переміщається не сам плунжер, а умовно – кільцевий перетин рідини в циліндрі преса.

Рівень накопиченої в системі гідропресу потенційною енергією визначаємо за формулою (2.12):

$$U_{\text{ж}} = \frac{P_{\text{H}} \Delta l_{\text{уж}}}{2} \quad (2.12)$$

$$U_{\text{ж}} = \frac{4 \cdot 10^3 \cdot 1,12}{2} = 2,24 \cdot 10^3 = 22,4 \text{ кДж}$$

Визначаємо сумарну пружну деформацію за формулою (2.13):

$$\Delta l_{\text{y}} = \Delta l_{\text{ум}} + \Delta l_{\text{уж}} \quad (2.13)$$

$$\Delta l_{\text{y}} = 2 \cdot 4 + 12,8 = 19,2 \text{ мм}$$

Приведена величина робочого ходу визначаємо за формулою (2.14):

$$X_{\text{рх}}^{\text{пр}} = \Delta x + \Delta l_{\text{y}} \quad (2.14)$$

$$X_{\text{рх}}^{\text{пр}} = 10 + 19,2 = 29,2 \text{ мм}$$

Розраховуємо часові складові технологічного циклу :

а) час ходу приближення розраховується за формулою (2.15):

$$t_{\text{хп}} = \frac{X_{\text{хп}}}{V_{\text{пр}}} \quad (2.15)$$

$$t_{\text{хп}} = \frac{370,8}{100} = 3,7 \text{ с}$$

Величина ходу приближення розраховується за формулою (2.16):

$$X_{\text{хп}} = X_{\text{max}} - X_{\text{рх}}^{\text{пр}} = X_{\text{max}} - (\Delta x + \Delta x_y) \quad (2.16)$$

$$X_{\text{хп}} = 400 - (10 + 19,2) = 370,8 \text{ мм}$$

б) приведений час робочого ходу розраховуємо за формулою (2.17):

$$t_{\text{рх}}^{\text{пр}} = \frac{X_{\text{рх}}^{\text{пр}}}{V_{\text{рх}}} \quad (2.17)$$

$$t_{\text{рх}}^{\text{пр}} = \frac{29,2}{10} = 2,92 \text{ с}$$

в) час поворотного ходу розраховуємо за формулою (2.18):

$$t_{\text{вх}} = \frac{X_{\text{вх}}}{V_{\text{вх}}} = \frac{X_{\text{max}}}{V_{\text{вх}}} \quad (2.18)$$

$$t_{\text{вх}} = \frac{400}{150} = 2,66 \text{ с}$$

Час технологічної паузи $t_{\text{п}}$ визначається виходячи із особливостей технологічного процесу та необхідності маніпуляцій заготовкою в випадку ручної роботи. Приймаємо $t_{\text{п}} = 3 \text{ с}$.

Час машинного циклу розраховуємо за формулою (2.19):

$$T_{\text{м}} = t_{\text{хп}} + t_{\text{рх}}^{\text{пр}} + t_{\text{вх}} + t_{\text{пср}} \quad (2.19)$$

$$T_M = 3,7 + 2,92 + 2,66 + 0 = 9,28 \text{ с}$$

Час технологічного циклу розраховуємо за формулою (2.20):

$$T_{\text{ц}} = T_M + t_{\text{п}} \quad (2.20)$$

$$T_{\text{ц}} = 9,28 + 3 = 12,28 \text{ с.}$$

Потрібна продуктивність насосу визначаємо за формулою (2.21):

$$Q = 0,06 F_{\text{ц}} V_{\text{рх}} \quad (2.21)$$

$$Q = 0,06 \cdot 1256 \cdot 1 = 95,36 \text{ л/хв}$$

Вибираємо стандартний насос НАС 80/320, $Q = 100$ л/хв; $n_0 = 1500$ об/хв; $N_H = 64$ кВт.

Геометрична подача визначається за формулою (2.22):

$$q = \frac{Q}{n_0} \quad (2.22)$$

$$q = \frac{100}{1500} = 60 \text{ см}^3/\text{об} = 0,06 \text{ л/об}$$

Тоді ефективна продуктивність визначається за формулою (2.23):

$$Q_3 = q n_o \zeta_o \quad (2.23)$$

$$Q_3 = 0,06 \cdot 1500 \cdot 0,9 \cdot 0,94 = 74,7 \text{ л/хв.}$$

Мертвий об'єм визначається приблизно:

$$V_0 = 0,1V_{\text{ц}} = 5024 \text{ см}^3 \quad (2.24)$$

У результаті:

$$t_{\text{рх}}^{\text{пр}} = \frac{0,06}{74,7} \cdot (11 \cdot 10^2 + 0,25 \cdot 0,5 + 1256 \cdot 1) = 1,8 \text{ с.}$$

Раніше розрахований час робочого ходу без врахування характеру технологічного навантаження зіставило 3,08 с., так як на 1,18 с. більше, ніж по уточненій залежності з урахуванням характеру технологічного напруження.

Будуємо циклограму зображену на рисунку 2.11.

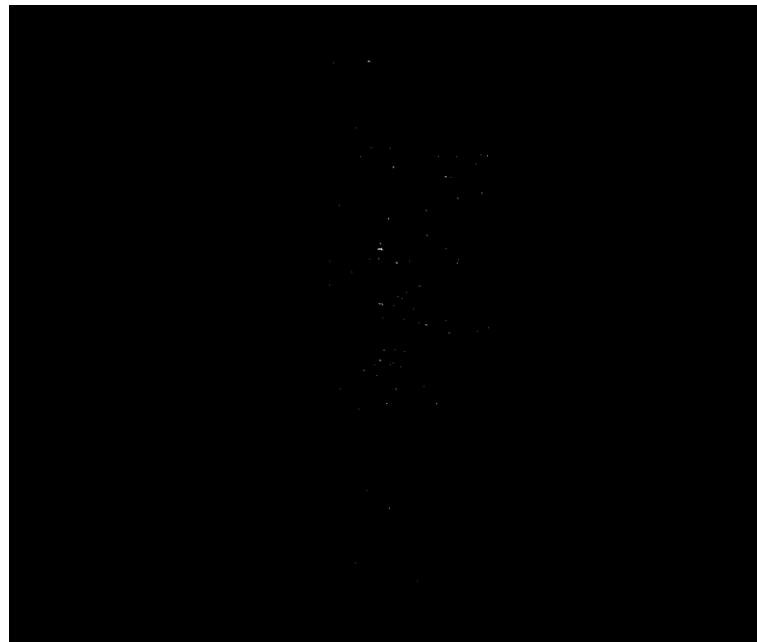


Рисунок 2.11 – Циклограма

2.4 Нагрівальна муфельна піч

Лабораторні муфельні печі виконують важливі завдання і стабільно займають свою нішу по затребуваності і зовнішньому інтересу. Такі пристрої існують для нагрівання до потрібної температури різних матеріалів. Муфельна лабораторна піч зобов'язана своїй назві наявності муфеля — своєрідній грані з термостійкого матеріалу, яка розмежовує робочу зону і предмет нагріву.

Такі пристрої виконують зазвичай з нержавіючої сталі. Так термін служби значно збільшується. Щоб температурний режим відповідав вимогам і не було сильних перепадів, муфель обмотують особливим дротом. Головний принцип роботи такої печі полягає в повній герметичності. Тому раціональним буде застосувати на дверцях термоізоляцію. Показники температури складають від 100 до 2000 градусів за Цельсієм, що вимагає особливих стійких до високих температур матеріалів. Від якості таких складових залежить ціна лабораторної муфельної печі. Установку здійснюють у відведені витяжні шафи. Перед установкою треба переконатися, що виконуються наступні вимоги:

1. Роботу з пристроєм можуть проводити тільки обізнані і навчені фахівці;
2. Наявність заземленої мережі;
3. Не можна залишати прилад без нагляду;
4. Заборонено торкатися до гарячої поверхні і нехтувати правилами захисту.

Муфельні печі призначені для спікання, 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.

Одним з видів муфельних печей є саме цей варіант. Така модель має свої принципові особливості:

1. Наявність литого керамічного муфеля;
2. Особливий механізм кріплення дверей, що мінімізує розгерметизацію;
3. Використання додаткової вентиляції дозволить швидко понизити високі температури пристрою.
4. Обігрів з 4 сторін, що забезпечить рівномірний розподіл температурних показників;
5. Оперативна швидкість нагрівання.

На рисунку 2.12 зображена лабораторна муфельна піч ПМ.



Рисунок 2.12 – Лабораторна муфельна піч ПМ

2.5 Висновок

Під час написання другого розділу магістерської роботи було розглянуте обладнання, яке використовувалося під час проведення досліджень. Це кривошипний прес КА2330, прес гідравлічний ПГ-100А, прес гідравлічний П481А. Також було згадано про обладнання яке є на заводі «Мотор Січ». Був проведений перевірочний розрахунок гідроприводу пресу гідравлічного П481А. Була розглянута схема розподілу потоків преса П481А. Розглядали муфельну піч для нагріву металу.

3 ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ

3.1 Методика проведення дослідження

Тонкостінні труби з корозійностійких сталей знаходять широке застосування в авіації, ракетобудуванні, космічній техніці, суднобудуванні, машинобудуванні, чорній і кольоровій металургії, атомній енергетиці, хімічній, нафтовій і газовій промисловості і інших галузях. Згинання труб є однією з основних операцій технологічного процесу виготовлення деталей трубопроводів. Незважаючи на це, в сучасних виробничих умовах практично неможливо здійснити якісне згинання в холодному стані труб діаметром понад 60-70 мм, оскільки вона супроводжується небажаними для подальшої експлуатації явищами: стоншуванням стінки на зовнішній частині труби, овалізацією (сплюсненням) поперечного перерізу, утворенням гофр і зламів на внутрішній частині.

3.1.1 Методика проведення дослідження

Для проведення дослідження використовувалось:

- а) заготовка: труба 12Х18Н9, $\varnothing 33,5 \times 1,0 \times 130$ мм;
- б) інструмент: штамп для згинання труби;

- в) устаткування: гідравлічний прес ПГ-100А;
- г) кут згинання труби: 90° ;
- д) спосіб згинання: прошовхування через отвір штампа;
- е) радіус згинання: $2D_u=80$ мм;
- ж) режими згинання: натяг 0,5; 1; 1,5 мм.

3.1.2 Обладнання:

Про обладнання яке використовувалося в експерименті описувалося в другому розділі дипломної роботи.

3.1.3 Інструмент:

Штамп для прошовхування труби через криволінійний канал матриці.

На рисунку 3.1 зображено загальний вид вставки

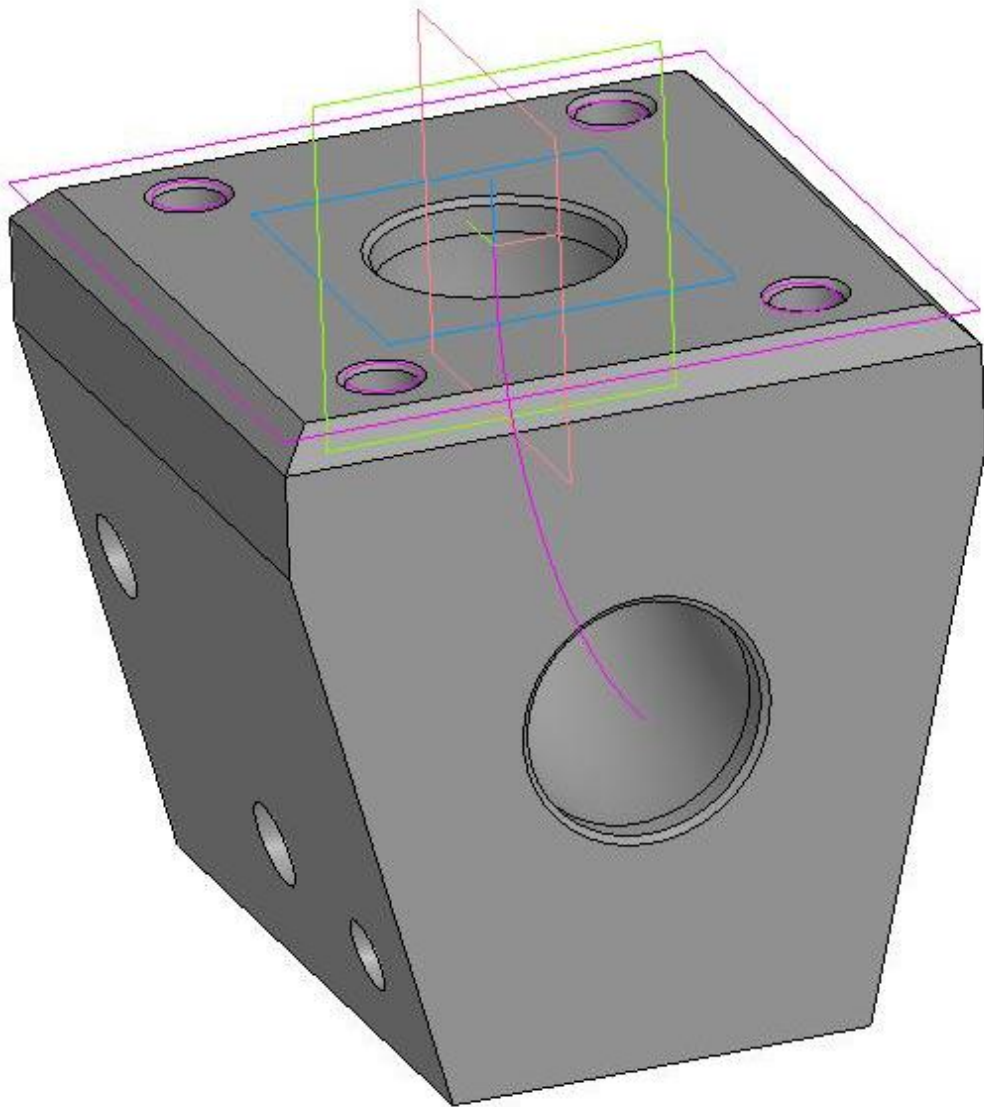


Рисунок 3.1 – Загальний вид вставки

На рисунку 3.2 та 3.3 зображена права та ліва половина вставки.

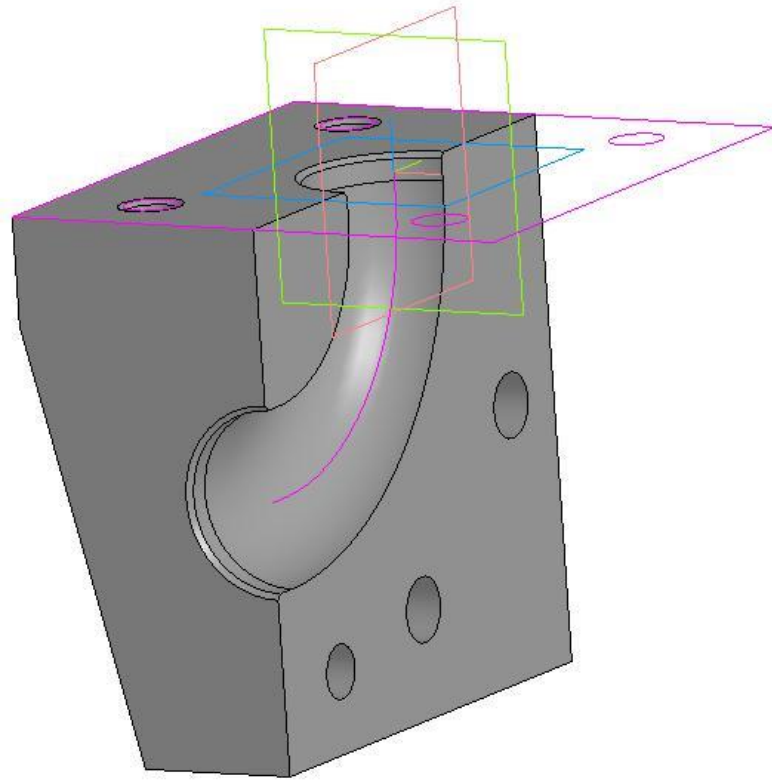


Рисунок 3.2 – Права половина вставки.

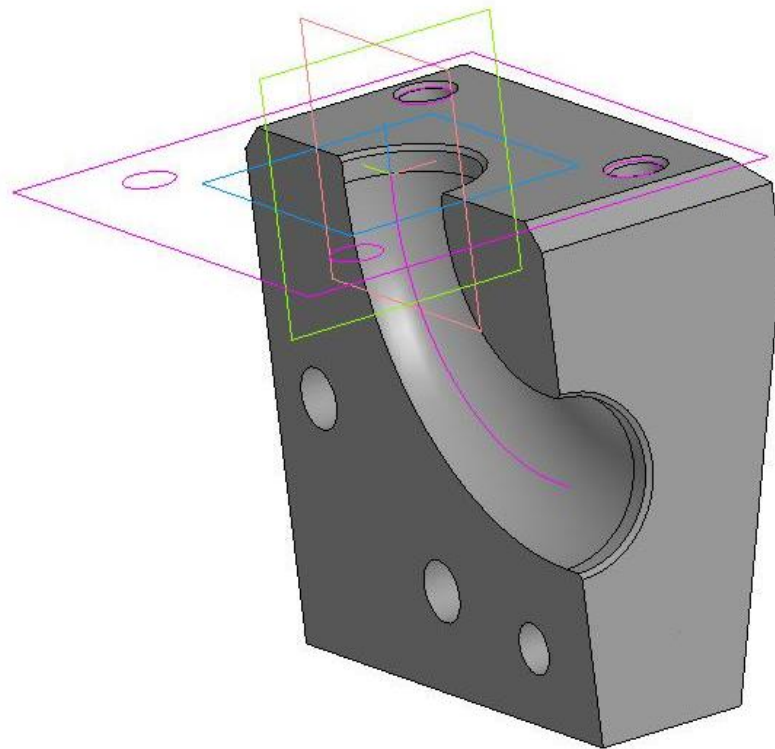


Рисунок 3.3 – Ліва половина вставки.

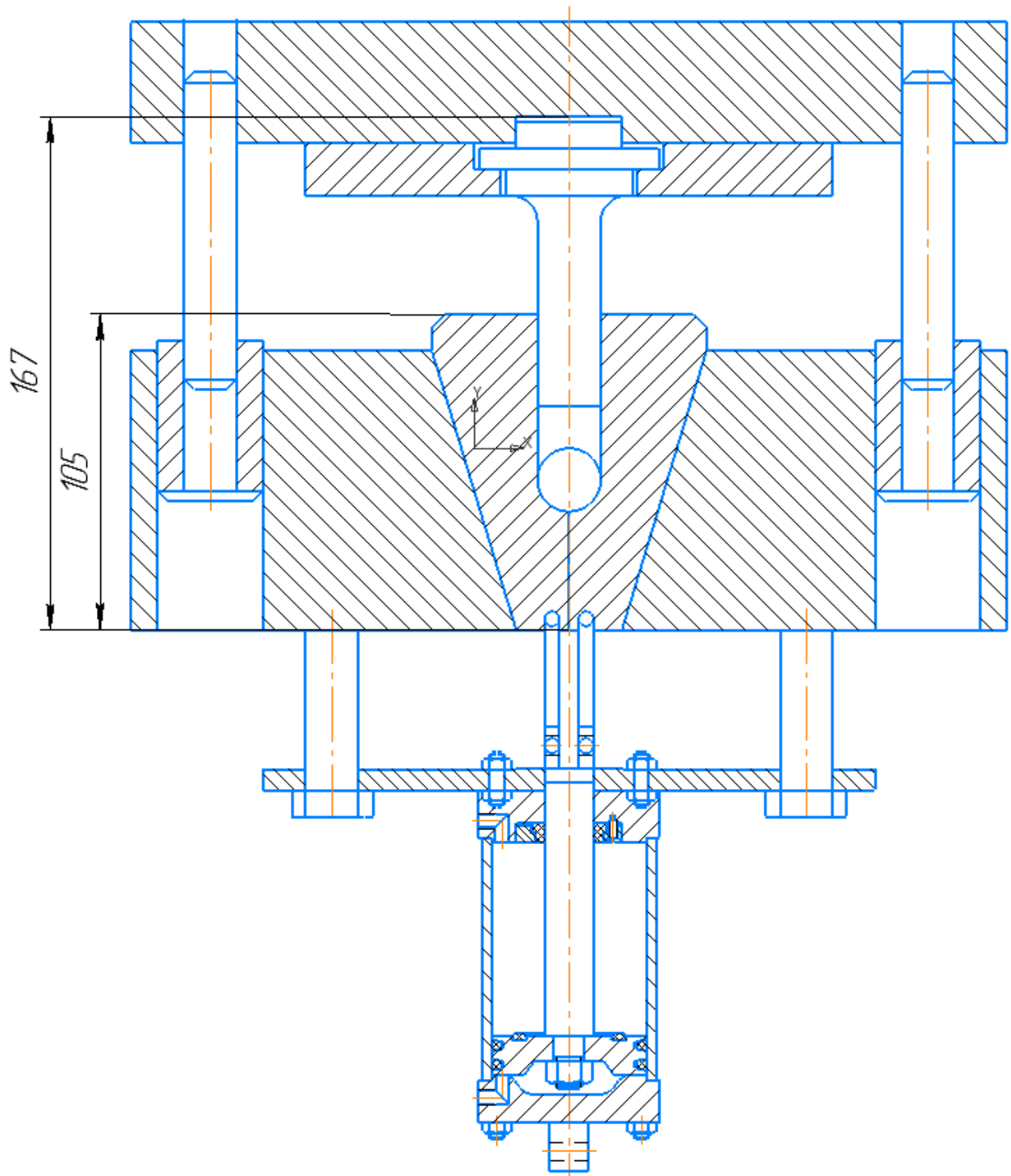


Рисунок 3.4 – Штамп для прошовхування на пресі

Принцип роботи:

- Беремо штамп для прошовхування труби через канал матриці.
- Встановлюємо його на прес та закріплюємо в фіксуючі отвори.
- На штамп встановлюємо направляючу, яка буде направляти заготовку в канал матриці.

- Після закріплення штампу та налаштування пресу беремо пуансон та встановлюємо його вгорі пресу.

Після того як все налаштоване та зібране беремо заготовку та вставляємо її в направляючу та вмикаємо прес. Прес починає тиснути пуансоном на трубу яка під дією сили починає прошовуватися через канал матриці та згинається під кутом 90° . Після того як заготовка пройшла через канал матриці, відводимо пуансон вгору та розкріплюємо штамп за допомогою пневматичного приводу. Дістаємо готову деталь.

3.1.4 Оцінка інформації:

Для оцінки деформації був використаний «Метод сіток». На трубу перед згинанням були нанесені риси через кожні 5 мм. На рисунку 3.5 приведені зображення труби після розмітки, а на рисунку 3.6 приведена картинка після згинання. Заміри проводилися електронним штангенциркулем з точністю до 0,01 мм. Після згинання труби було замірено відстань між рисками, були порашовані величини подовження та зменшення довжини стінок труби, що брали участь в згинанні.



Рисунок 3.5 - Зображення труби після розмітки

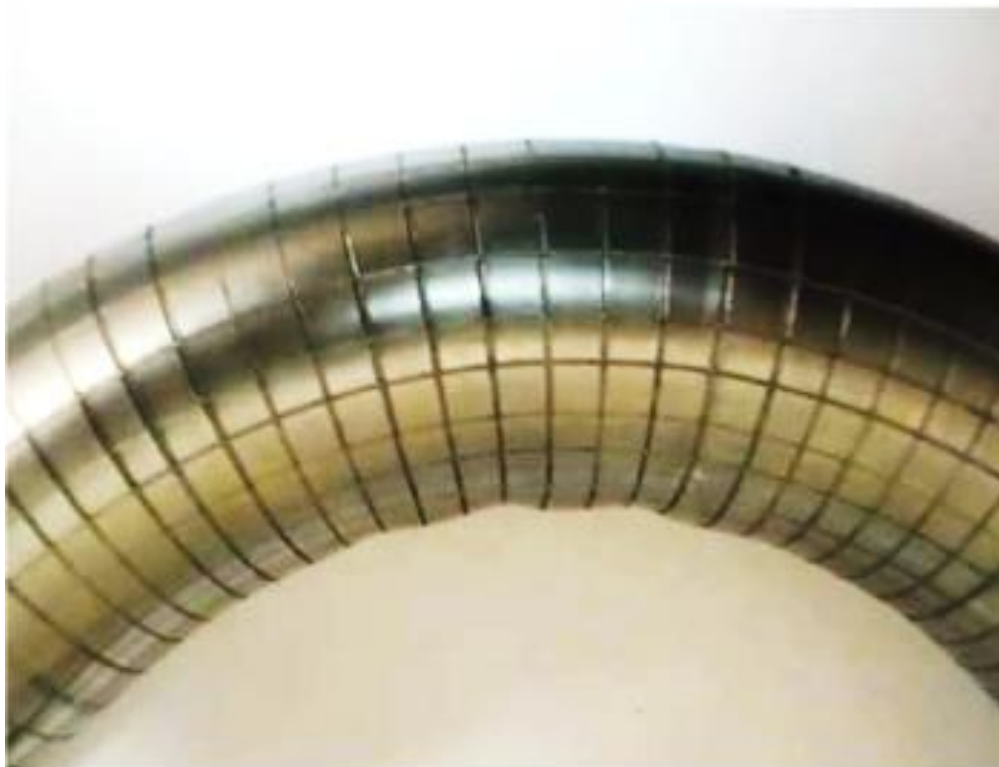


Рисунок 3.6 – Зображення труби після згинання

На рисунку 3.7 зображена труба в розрізі після згинання



Рисунок 3.7 - Зображення труби після згинання в розрізі

На рисунку 3.8 зображена схема розташування точок, в яких проводилися вимірювання.

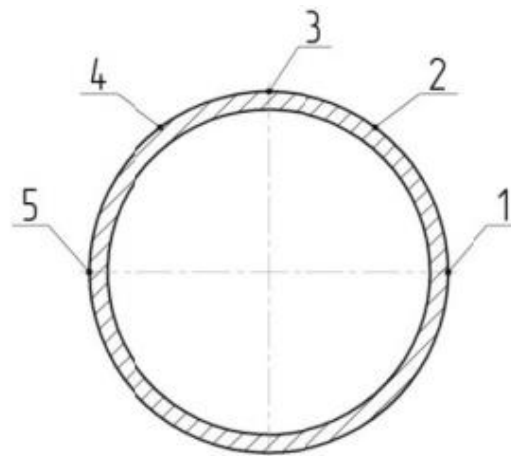


Рисунок 3.8 – Схема розташування точок, в яких проводилися вимірювання

3.1.5 Результати досліджень

В результаті проведених дослідів були отримані графічні залежності, за якими можна зрозуміти характер подовження та зменшення довжини стінки труби в різних місцях згину. Аналізуючи графіки, рисунок 3.9-3.13, можна встановити визначену закономірність змінення деформації на різних ділянках згинаючої труби при різних натягах у таблиці 3.1 наведена деформація на різних ділянках згинаючої труби.

Таблиця 3.1 - Деформація на різних ділянках згинаючої труби, %

Натяг	Точка 1	Точка 2	Точка 3	Точка 4	Точка 5
0,5 мм	-7,4	-4,6	12,0	16,6	35,2
1 мм	-11,0	-5,6	16,8	22,0	36,8
1,5 мм	-12,0	-6,6	18,0	28,6	39,4

Випадає ряд точок (4,46; 4,76; 4,75; 4,75; 4,5; 4,4; 4,7; 4,55) на внутрішній стінці обумовлено наявністю гофрообразування труби на малих

натягах. Випадають точки (5,07; 4,5; 4,5; 4,4; 6,23; 6,23; 6,23; 5,85; 5,93; 5,95; 6,43; 6,45) на боковій стінці, зовнішній стінці, а також на ділянках 2 та 4 зображено на рисунок 3.8 обумовлено наявністю гофробразування труби, тертя труби при згинанні, нерівномірністю товщини стінок труби та структури металу.

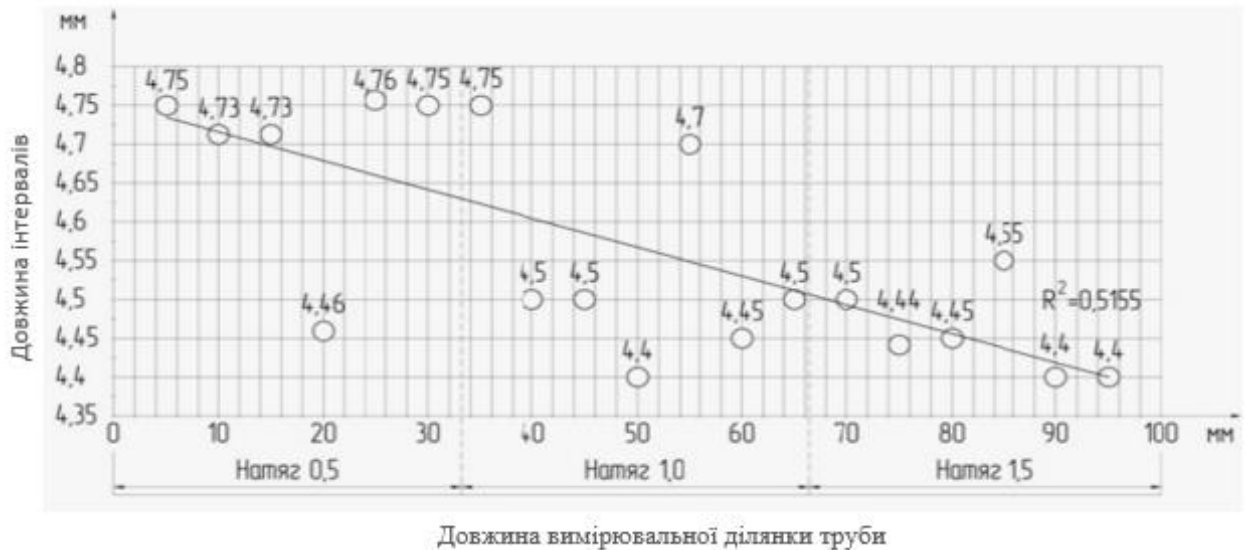


Рисунок 3.9 - Графік зміни довжини інтервалів (точка 1)

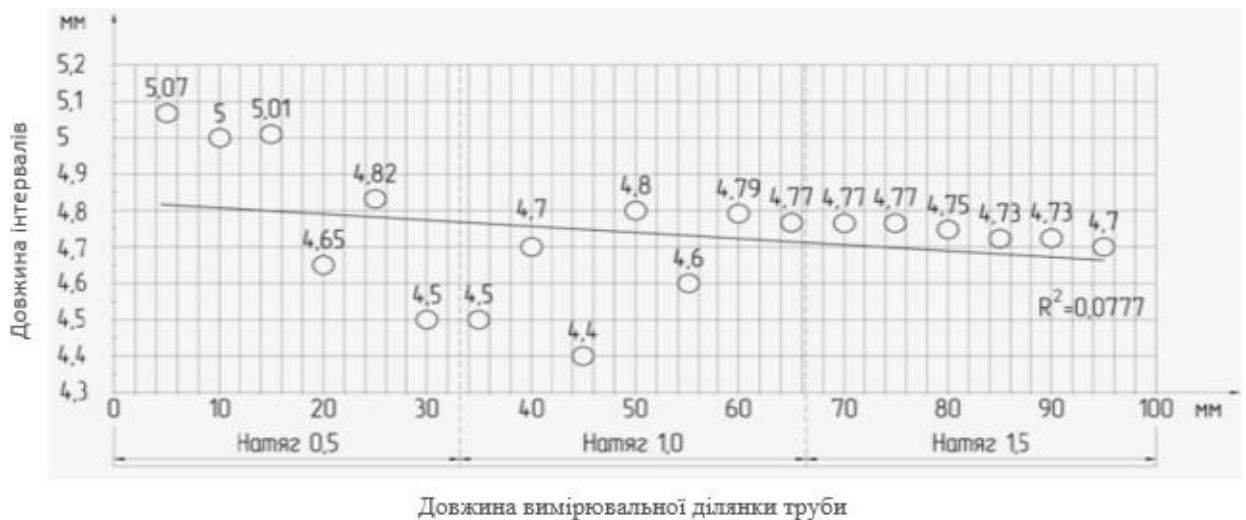


Рисунок 3.10 - Графік зміни довжини інтервалів (точка 2)

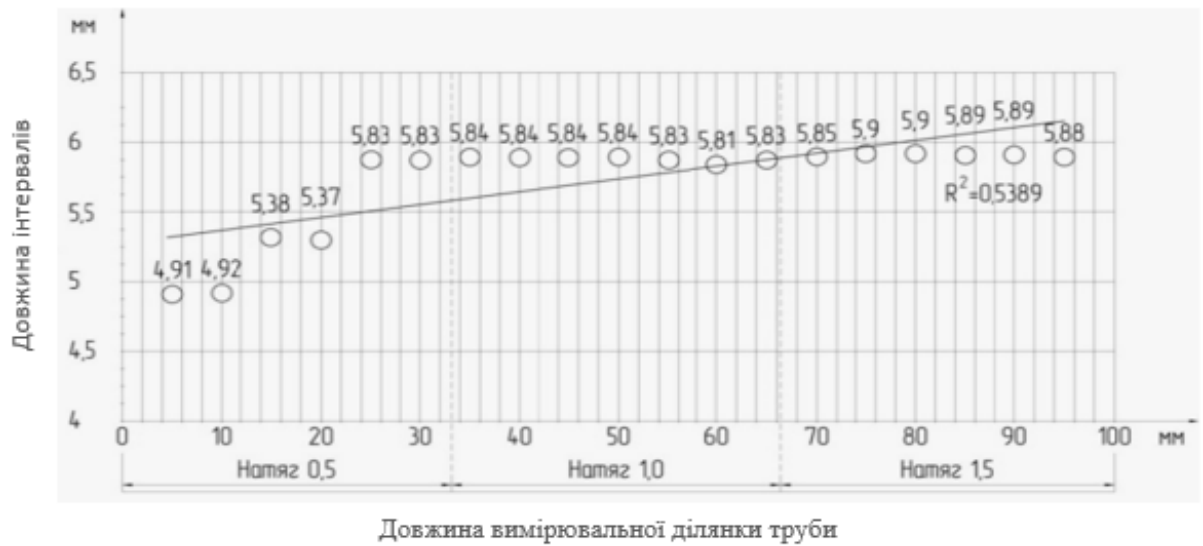


Рисунок 3.11 - Графік зміни довжини інтервалів (точка 3)

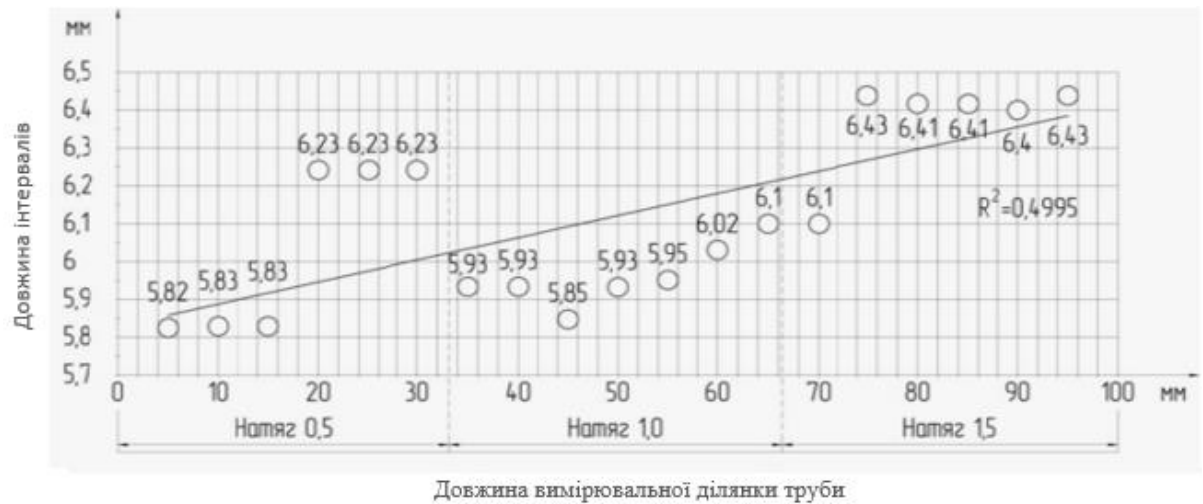


Рисунок 3.12 - Графік зміни довжини інтервалів (точка 4)

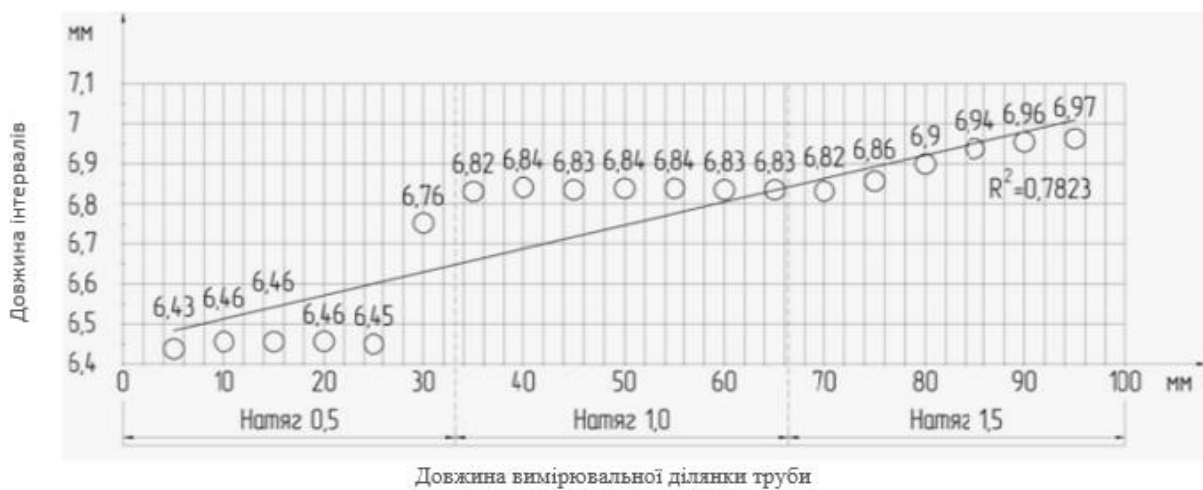


Рисунок 3.13 - Графік зміни довжини інтервалів (точка 5)

3.1.6 Розрахунок товщини стінок труби

Розрахунок товщини стінок труби на внутрішній, боковій та зовнішній поверхні, а також між ними зображено на рисунку 3.14 по точкам 1-5 зображено на рисунку 3.8 змінювалась пропорційно зміні величини повздовжніх деформацій на відповідних ділянках зображених на рисунку 3.9-3.13.

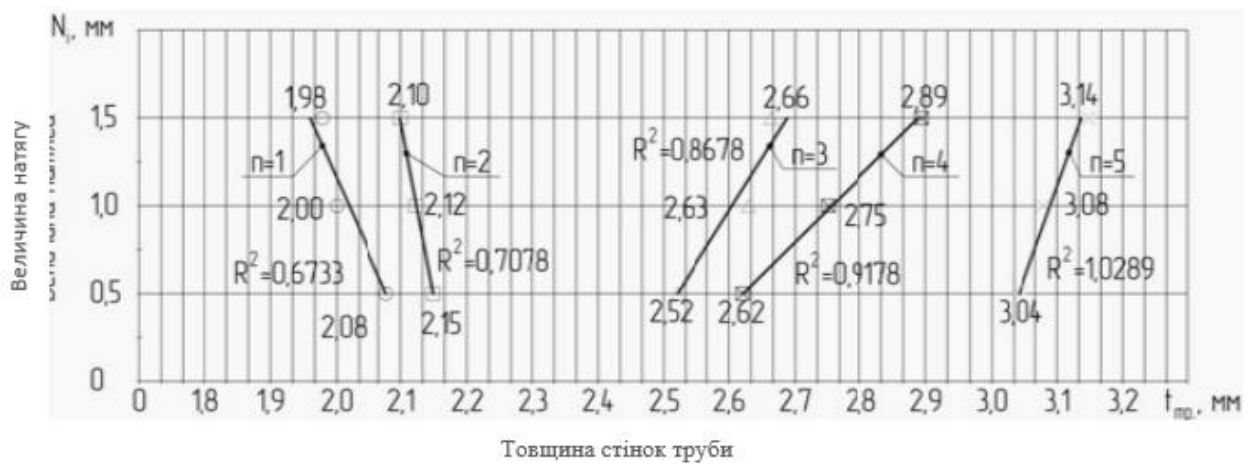


Рисунок 3.14 – Зміна товщини стінок труби

Була отримана залежність, за якою можна розрахувати зміну товщини стінок труби за формулою (3.1):

$$t_i = t_{\text{тр}} N_i k_i \quad (3.1)$$

де t_i – розрахункові товщини стінок труби;

$t_{\text{тр}}$ – початкові товщини стінок труби;

N_i – розміри натягу;

k_i – коефіцієнт пропорційності.

3.2 Планування дослідження

Факторні плани широко використовуються в експериментах з декількома факторами, коли необхідно досліджувати їх сумісний вплив на відгук. Однак є декілька важливих окремих випадків загального факторного плану, які широко використовуються в роботі дослідника, а також здійснюють основу інших планів, які мають більше практичне значення.

Перший із цих окремих випадків – k фактором з двома рівнями кожний. Рівні можуть бути кількісними, наприклад, два значення температури, тиску, текучого часу, та якісними, скажімо два станки, два оператори, «верхній» та «нижній» рівні факторів або навіть присутність та відсутність фактору. Для повної репліки такого плану необхідно $2 \times 2 \times \dots \times 2 = 2^k$ спостережень; він називається факторним планом типу 2^k . Другий окремий випадок – k фактором з трьома рівнями кожний – називається факторним планом типу 3^k .

3.2.1 Аналіз факторного плану типу 2^k

Плани типу 2^k особливо корисні на ранніх етапах дослідження, коли частіше всього приходиться розглядати багато факторів. При використанні таких планів число комбінацій обробки, за допомогою яких можуть бути дослідження в повному факторному дослідженні k факторів, виявляється мінімальним. Оскільки для кожного фактору береться тільки два рівні, ми повинні вважати, що відклик приблизно лінійний в діапазоні зміни вибраних рівнів.

3.2.2 План 2^3

Припустімо, що досліджуються три фактори А, В та С, кожен з них на двох рівнях. Такому факторному дослідженню відповідає план 2^3 ; вісім комбінацій

обробок можна представити графічно в виді вершин куба. Напишемо комбінації обробок в стандартному порядку: (1), a, b, ab, c, ac, bc та abc. Згадаємо, що ці букви означають також суму всіх спостережень для даної комбінації обробок.

Використовуючи ці вісім комбінацій обробок, ми можемо оцінити головні ефекти A, B та C, двохфакторні взаємодії AB, AC та BC та трьохфакторні взаємодії ABC.

Середній ефект A рівний просто середньому арифметичному цих чотирьох величин визначаємо за формулою (3.2):

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

Цей вираз можна представити в вигляді контрасту для порівняння чотирьох комбінацій обробок на правій грані куба (де A на верхньому рівні) з чотирьома комбінаціями обробок на лівій грані (де A на нижньому рівні) формула (3.3):

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

Аналогічно ефект B є контрастом для порівняння чотирьох комбінацій обробок на задній грані куба з чотирьома комбінаціями обробок на передній грані визначається по формулі (3.4):

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

Ефект C є контрастом для порівняння чотирьох комбінацій обробок на верхній грані куба з чотирьома комбінаціями обробок на нижній грані та визначається по формулі (3.5):

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

Середній ефект АВ є просто середнє арифметичне цих двох величин визначається по формулі (3.6):

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

Так само знаходимо середні ефекти АС та ВС по формулам (3.7) та (3.8):

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

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

Ефект АВС визначається по формулі (3.9) як середня різниця між взаємодією АВ для двох різних рівней С:

$$\begin{aligned} ABC &= \frac{1}{4n} \{ [abc - bc] - [ac - c] - [ab - b] + [a - (1)] \} = \\ &= \frac{1}{4n} [abc - bc - ac + c - ab + b + a - (1)] \end{aligned} \quad (3.9)$$

Сума квадратів для ефектів знайти неважко, оскільки кожному ефекту співпадає контраст з одною степеню свободи. В плані 2^3 з n репліками сума квадратів для любого ефекту має вид формула (3.10):

$$SS = \frac{1}{8n} (\text{Контраст})^2 \quad (3.10)$$

Вихідні дані для планування експерименту наведені в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Вихідні дані

Радіус А	$\sigma_{В В}$			
	115		250	
	Коеф. тертя С		Коеф. тертя С	
	0,3	0,5	0,3	0,5
50,25	-3	-1	-1	1
	-1	0	0	1
	-4=(1)	-1=c	-1=b	2=bc
134	0	2	2	6
	1	1	3	5
	1=a	3=ac	5=ab	11=abc

Використовуючи суми по комбінаціям обробок, можемо знайти середні ефекти за формулами (3.2–3.9):

$$A = \frac{1}{8} [1 - (-4) + 5 - (-1) + 3 - (-1) + 11 - 2] = \frac{1}{8} \cdot 24 = 3;$$

$$B = \frac{1}{8} [-1 + 5 + 2 + 11 - (-4) - 1 - (-1) - 3] = \frac{1}{8} \cdot 18 = 2,25;$$

$$C = \frac{1}{8} [-1 + 3 + 2 + 11 - (-4) - 1 - (-1) - 5] = \frac{1}{8} \cdot 14 = 1,75;$$

$$AB = \frac{1}{8} [5 - 1 - (-1) + (-4) + 11 - 2 - 3 + (-1)] = \frac{1}{8} \cdot 6 = 0,75;$$

$$AC = \frac{1}{8} [-4 - 1 + (-1) - 5 - (-1) + 3 - 2 + 11] = \frac{1}{8} \cdot 2 = 0,25;$$

$$BC = \frac{1}{8} [-4 + 1 - (-1) - 5 - (-1) - 3 + 2 + 11] = \frac{1}{8} \cdot 4 = 0,50;$$

$$ABC = \frac{1}{8} [11 - 2 - 3 + (-1) - 5 + (-1) + 1 - (-4)] = \frac{1}{8} \cdot 4 = 0,50.$$

Сума квадратів знаходимо за допомогою формули (3.10):

$$SS_A = \frac{24^2}{16} = 36;$$

$$SS_B = \frac{18^2}{16} = 20,25;$$

$$SS_C = \frac{14^2}{16} = 12,25;$$

$$SS_{AB} = \frac{6^2}{16} = 2,25;$$

$$SS_{AC} = \frac{2^2}{16} = 0,25;$$

$$SS_{BC} = \frac{4^2}{16} = 1;$$

$$SS_{ABC} = \frac{4^2}{16} = 1.$$

Найбільший вплив на якість виробів відіграє радіус згинання.

3.3 Висновок

У дипломній роботі розглянуті результати експериментальної оцінки деформацій тонкостінних труб при згинанні з проштовхуванням через

криволінійний канал матриці. Приведена методика проведення дослідження. Для проведення експериментів використовувався гідравлічний прес ПГ-100А. У основі способу оцінки деформацій був використаний "Метод сіток". Були визначені величини подовження і зменшення довжини стінок труби, що брали участь в згинанні. В результаті проведеного дослідження вдалося оцінити міру і характер деформації в подовжньому і поперечному перерізі стінок труби при згинанні з проштовхуванням через криволінійний канал матриці і, як наслідок, розрахувати вказані деформації і стоншування стінок труби, що є важливою експлуатаційною характеристикою.

При проведенні дослідження було визначено наскільки змінюється товщина стінки при згинанні її через криволінійний канал матриці.

Щоб побачити та підтвердити на скільки відсотків вона змінюється було використано «Метод сіток». На поверхню труби була нанесена сітка у вигляді квадратів. Коли трубу пропустили через отвір матриці було виміряно квадрати електронним штангенциркулем та підтверджено теорію про те, що товщина змінюється та труба розтягується на більшому радіусі, а на меншому – стягується.

Таблиця 3.3 – Зміна товщини стінок

	Точка 1	Точка 2	Точка 3	Точка 4	Точка 5
H_0	2	2	2	2	2
H_1	5	4	2	1,5	1

4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

В розділі надані основні заходи з охорони праці при виконанні досліджень процесу згинання труб.

4.1 Аналіз потенційних небезпек

Питання забезпечення безпеки при дослідженні процесу згинання труб, можуть бути вирішені на підставі вимог ISO 45001:2018 «Системи менеджменту охорони здоров'я і забезпечення безпеки праці. Вимога і настанова по їх застосування».

З позиції процесного підходу до забезпечення безпеки, кожний виробничий процес, який досліджується розглядається як послідовність процедур та дій при досягненні результату.

В процесі дослідження розглянуті традиційні методи отримання потрібного профілю труб з діаметром менше за стандартне, а саме:

а) Метод гарячого протягування через рогоподібне осердя.

Способом заводського виготовлення крутозігнутих колін є гаряче протягання трубних заготовок мірної довжини по рогоподібній вставці з подальшими операціями гарячого об'ємного правлення і калібрування колін.

Такий спосіб дозволяє отримувати коліна з малим радіусом кривизни і рівною за усім обсягом виробу товщиною стінки.

Технологічний процес розрахований на отримання крутозігнутих колін з мірних трубних заготовок і складається з декількох етапів багатоопераційної маршрутної технології:

- різання труб на мірні заготовки, різання патрубків, тобто заготовок труб певного розміру

- гаряче протягування, простягання заготовки на спеціальних гідропресах по рогоподібній вставці, який створює необхідну форму.

- гаряче об'ємне правлення, калібрування у вертикальних гідравлічних пресах.

- обробка приєднувальних торців під зварювання і калібрування колін по внутрішньому діаметру.

В ході калібрування коригуються геометричні розміри, в першу чергу стосовно діаметру.

У завершенні коліна обробляються на торцових верстатах. Процес протягання колін по рогоподібній вставці з трубних заготовок зображений на рисунку 4.1:

- штанга 1;
- формотворна ділянка 2;
- калібруюча ділянка 3 із заданим радіусом кривизни.

При протягуванні трубних, заготовок цим способом по рогоподібній вставці відбувається щільне прилягання заготовки до поверхні вставки, що забезпечує одночасне калібрування колін по внутрішньому діаметру на калібруючій ділянці вставки і правильне формозмінення трубної заготовки на вставку з наступним додатковим штамповим оснащенням для гарячого об'ємного правлення і калібрування колін.

Штамування колін робиться за допомогою протягування труби по рогоподібній вставці і протікає без руйнування матеріалу, а висота коліна виходить найбільшою, без істотного стоншування стінки.

Такий спосіб виготовлення крутозігнутих колін полягає в підвищенні точності виготовлення колін, підвищення продуктивності праці і розширення технологічних можливостей процесу.

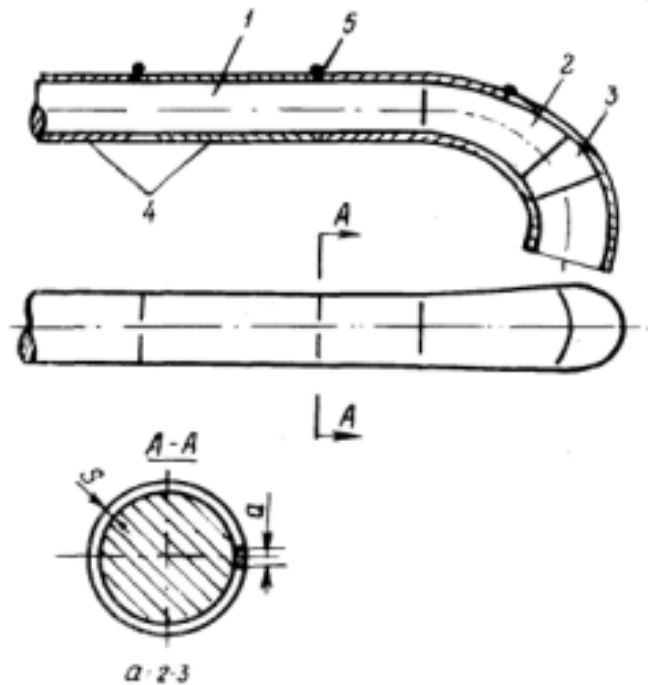


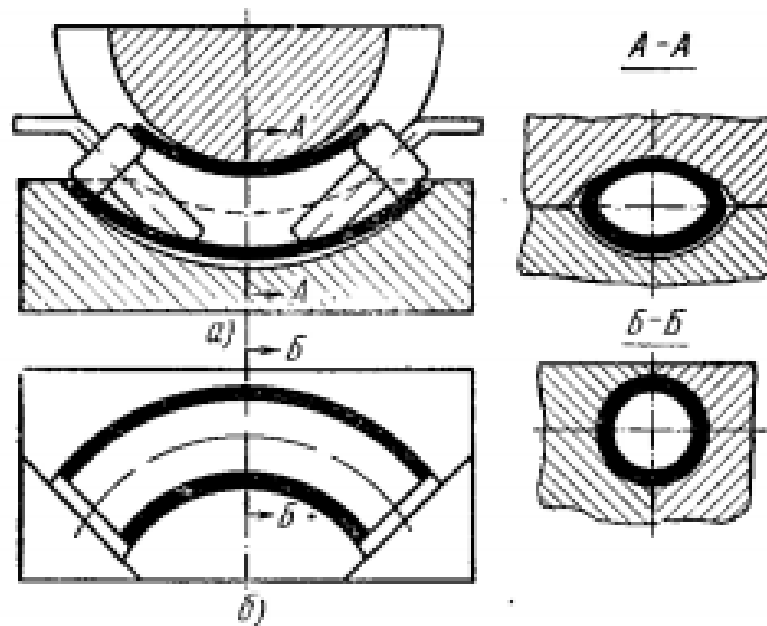
Рисунок 4.1 – Схема протягування колін по рогоподібній вставці

При використанні цього методу є наявність типових небезпечних та шкідливих факторів трудового процесу:

- можливість ураження електричним струмом при нагріві вставки токопровідними елементами в наслідок коротких замикань, непередбаченого торкання токопровідних елементів у разі пошкодження ізоляції, що може призвести до електричних травм та летальних наслідків;
- негативний вплив теплового випромінювання внаслідок розігріву вставки до t термічних опіків при непередбачуваному торканні нагрітої поверхні.

б) Метод штампування труб

Штамповкою виготовляють коліна умовним діаметром від 40 до 100 мм. Вихідним матеріалом для виготовлення є відрізок труби, який має косі зрізи на кінцях з діаметром на 6 – 8% більше, ніж у виготовляючого коліна.



а – згинаючий струмок; б – формуючий струмок.

Рисунок 4.2 – Схема штамповки крутозигнутих колін

В першому згинаючому струмку рисунок 4.2, а відбувається об'ємне згинання та одночасно в поперечному перетині заготовки надається форма овалу. Цим досягається збереження товщини стінки по перетину в межах допуску при малих радіусах згинаннях. Для зменшення зім'ятих торців труби – заготовки при згинанні та збільшення радіуса згинання в середній зоні застосовують внутрішні оправки.

В другому формуючому струмку рисунок 4.2, б згинають заготовку, повернуту на 90° відносно її повздовжній осі, обтискають. При цьому поперечному овальному перетині надається кругла форма та зменшується першопочатковий діаметр. Коліна з D_y , рівним 50 та 70 мм,

виготовляються, крім того, холодною штамповкою в одну операцію в одно струмковому штампі.

- можливість отримання механічних травм при вирубці заготовки на виробничому штампі в наслідок порушень правил з ОП для операції вирубки

- можливість отримання механічних травм при відсутності запобіжних пристроїв на штампувальному обладнанні, а саме відсутність блокуючих пристроїв, або захисних огорож.

в) Метод лиття труб

Штампівка колін із листової сталі виготовляється із двох половин на фрикційних пресах. Кожна половина коліна штампується в однорструмковому штампі. Після штамповки кромки обох половин торцюють по лінії рознімання, а потім їх збирають та автоматично зварюють два шва коліна на маніпуляторі та остаточно оброблюють торці на полуавтоматах. В останній час застосовується штамповка колін із листової сталі з одним швом. Технологія виготовлення штампосварних колін із листового прокату поки що має високу трудомісткість, але цей процес представляє практичний інтерес, так як дозволяє замінити більш дефіцитні труби листовим прокатом. Особливо економічно ефективно виготовляти штампосварні коліна із високолегуючих сталей, так як внаслідок обмеженості сортаменту таких труб не завжди можна підібрати необхідний діаметр труби – заготовки для виготовлення колін гарячою штамповкою або протяжкою.

Багатофакторність цього методу, що збільшує кількість потенційних небезпек, зокрема:

- можливість отримання механічної травми при підготовці шихтових матеріалів та відділення ливникової системи у разі використання абразивного інструменту,

- термічні опіки при виплесках металу, тощо.

г) Секторний метод

Зварні секційні коліна виготовляють з безшовних і електрозварювальних труб. Технологія виготовлення така: з труб вирізаються окремі секції або ділянки, які потім збираються під кутом один до одного, так, щоб конструкція утворювала необхідний кут згинання. Зазвичай таких секцій три або чотири. Потім секції зварюються між собою, утворюючи єдину деталь. Такі коліна відрізняються малим радіусом згинання, що становить 1—1,5 умовного діаметра труби. Даний спосіб виготовлення передбачає низьку міцність деталі, тому відведення цього типу використовуються при тисках до 6,4 МПа і тільки в тому випадку, якщо в даний момент відсутні гнуті або крутовигнуті коліна необхідних параметрів.

Багатофакторність цього методу зокрема:

- можливість ураження електричним струмом при використанні зварювального обладнання,
- підвищена напруженість праці.

4.2 Заходи по забезпеченню безпеки

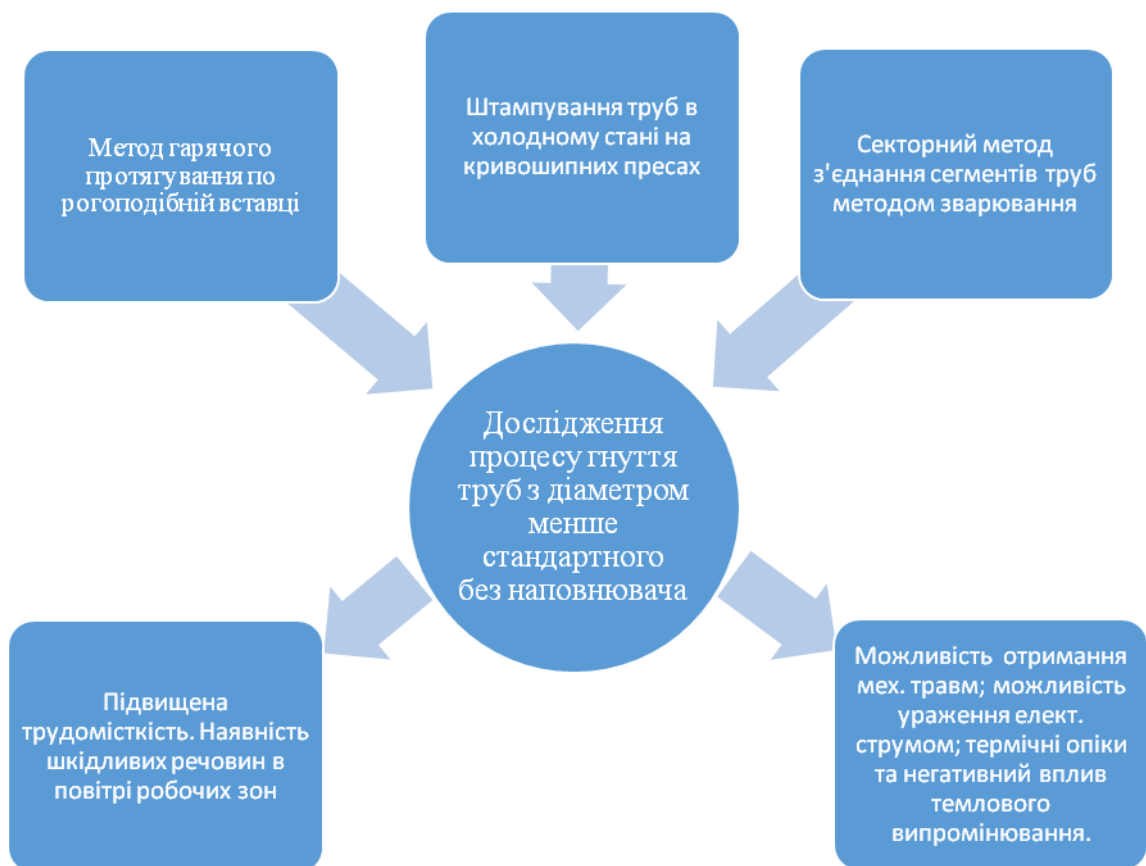
При використанні процесного підходу у питаннях забезпечення безпеки, згідно вимог ISO 45001:2018 «Системи менеджменту охорони здоров'я і забезпечення безпеки праці. Вимоги і настанова по їх застосуванню» система управління охороною праці є невід'ємною складовою будь-яких систем виробничих процесів, що обумовлює необхідність її менеджменту. З позиції процесного підходу до забезпечення безпеки кожен виробничий процес необхідно представити як послідовність процедур та дій при досягненні потрібного результату. Важливим є вичленення найбільш

небезпечних сегментів виробничого процесу та на цій підставі надати технічне рішення яке дозволило б зменшити ступінь ризику.

Впровадження процесного підходу в загальному вигляді надано в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Етапи впровадження процесного підходу при підвищенні безпеки технологічних процесів.

I етап	II етап	III етап	IV етап
З'ясовується ланцюг технологічних процесів виробництва або досліджень	Процеси ранжируються по значності та по ступеню небезпеки.	Проводиться аналіз і виявлення найбільш небезпечних процесів	На підставі отриманих результатів будуються моделі «як надо» (TO-BE)



Графік 4.1 – Фактори небезпек

Таким чином розглянуті традиційні методи отримання крутозигнутих колін, визначені складових трудових процесів з яких зазначені найбільш небезпечні чинники.

Запропонований комплекс технологічних заходів, який пов'язаний з принципово новою технологією виготовлення крутозигнутих колін, за якою в значній мірі мінімізуються зазначені небезпеки:

- ураження електричним струмом;
- термічні та механічні опіки;
- негативний вплив теплового випромінення.

Розширити технологічні можливості процесу і виготовити виріб з мінімальним можливим радіусом кривизни дозволяє метод згинання трубної заготовки прошовуванням в криволінійний канал матриці, [21]. Трубна заготовка, що має скоси на її торцях, прошовується в криволінійний канал, діаметр якого дорівнює діаметру початкової трубної заготовки. Геометрія криволінійного каналу відповідає геометрії готового виробу.

Деформаційне зміцнення матеріалу в процесі формоутворення описується кривій зміцнення, отриманій при випробуванні зразка на одновісне розтягування, [19].

4.3 Гігієна виробництва та санітарія праці

Важливу роль у забезпеченні здоров'я населення відіграє гігієна як профілактична наука та санітарія як її практичне втілення.

Гігієна – наука, що вивчає вплив оточуючого середовища на організм людини й суспільне здоров'я з метою обґрунтування гігієнічних нормативів, санітарних правил та заходів, що мають забезпечувати здорові санітарні умови та запобігати захворюванням.

Складовою частиною загальної гігієни є гігієна праці, що вивчає вплив на організм чинників виробничого середовища з метою усунення їх несприятливої дії на здоров'я людини.

Практичне втілення гігієнічних нормативів у виробничу, побутову та інші сфери існування людини є завданням санітарії.

Можливий вплив на працівників шкідливих виробничих чинників і розвиток професійних захворювань вивчає виробнича санітарія, яка розробляє систему організаційних заходів і технічних засобів, що запобігають дії шкідливих виробничих чинників на організм людини.

Технічні заходи – це розробка та застосування спеціальних колективних та індивідуальних засобів захисту від небезпечних та шкідливих виробничих факторів.

Санітарно-гігієнічні умови праці визначають наявність фізичних, хімічних, біологічних та психофізіологічних чинників.

Гігієнічний норматив – це визначений діапазон параметра виробничого середовища, який є безпечним з точки зору збереження нормальної життєдіяльності та здоров'я людини.

Об'єктами гігієнічного нормування є чинники антропогенного походження (шум, пил, вібрація і ін.) і чинники природного середовища (мікроклімат, ультрафіолетове опромінення, радіація і ін.).

Гранично-допустимим нормативом (ГДК, ГДР, ГДД) шкідливих виробничих чинників вважається такий, який при щоденній роботі протягом 8 годин, впродовж усього робочого стажу не може викликати змін у стані здоров'я працівника або його нащадків.

Гігієнічні нормативи узагальнюються у спеціальних документах, що називаються санітарними нормами.

Санітарні норми використовуються при проектуванні та організації виробництва, при контролюванні стану охорони праці на робочих місцях, проведенні паспортизації, впровадженні стандартів, а також при розробці конкретних заходів щодо нормалізації умов праці.

Санітарне благополуччя населення досягається також впровадженням державної експертизи. Об'єктами експертизи є проекти національних, регіональних, місцевих і галузевих програм соціально-економічного розвитку, документація на проекти будівництва, нова техніка, нові технології і все те, що може завдати шкоди здоров'ю людини.

Складовою частиною санітарного законодавства є санітарні норми, правила, методичні вказівки, рекомендації, положення та інструкції.

Важливими у санітарному законодавстві є такі документи як :

- СН 245-71 “ Санітарні норми проектування промислових підприємств”. Цей документ регламентує санітарні умови праці, санітарну класифікацію виробництв, допустимі рівні шкідливих виробничих чинників, вимоги до проектів технологічних процесів, обладнання, виробничих будівель та споруд.
- ДСанПіН 173-96 “Державні санітарні правила планування та забудови населених пунктів”.
- ДСН 3.3.6-037-99 - “Державні санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку”.
- ДСН 3.3.6-039-99 - “ Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрації”.
- ДСН 3.3.6-042-99 - “Державні санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень”.
- “Санітарні правила організації технологічних процесів і гігієнічні вимоги до виробничого обладнання” і т. ін.

Виробнича санітарія - це система організаційних, гігієнічних, санітарно-технічних заходів та засобів запобігання впливу шкідливих виробничих чинників на працівників.

Виробнича санітарія розробляє гігієнічні вимоги до виробничих процесів і устаткування, санітарні норми і правила, заходи особистої гігієни, пропозиції з наукової організації праці і відпочинку. Усі ці вимоги забезпечують створення на підприємствах умов, які сприяють усуненню

шкідливих виробничих чинників, попередженню професійних захворювань, збереженню здоров'я працівників, підвищенню продуктивності праці.

Заходи зниження негативного впливу електромагнітних полів та випромінювань.

Для зменшення наслідків негативного впливу на людину та зниження показників у робочій зоні до допустимих значень, згідно з ГОСТ 12.1.006.0-84 «ССБТ Электромагнитные поля. Допустимые уровни на рабочих местах.» та НПАОП 0.00-1.28-10 «Правила охорони праці під час експлуатації електронно-обчислювальних машин», ДСанПіН 3.3.2.007-98 «Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин». Вироби, які генерують електромагнітні поля, повинні мати захисні елементи (екрани, поглиначі і т.д.). Вимоги до захисних елементів повинні бути вказані в стандартах та технічних умовах на конкретні види виробів. Найбільш ефективним засобом зниження негативного впливу є встановлення сучасних рідкокристалічних моніторів, які не є джерелами рентгенівського та електромагнітного випромінювань.

Нормування магнітних полів проводиться згідно з ДСН 3.3.6-096-2002 «Державні санітарні норми при роботі з джерелами електромагнітних полів», ДСН 239-96 «Державні санітарні норми и правила захисту населення від впливу електромагнітних випромінювань».

Заходи організації системи загального рівномірного освітлення. Освітлення виробничих приміщень відіграє найважливішу роль у забезпеченні збереження працездатності та здоров'я працівників, які працюють у офісних приміщеннях. Згідно ДБН В.2.5-28-2006 «Інженерне обладнання будинків і споруд. Природне і штучне освітлення» передбачене природне та штучне освітлення. Природне освітлення здійснено через світлові прорізи, які забезпечують коефіцієнт природної освітленості (КПО) не нижче 1,5%. Для захисту від прямих сонячних променів, які створюють прямі та відбиті відблиски на поверхні екранів і клавіатури, передбачено

сонцезахисні пристрої, на вікнах встановлені жалюзі або штори. Штучне освітлення в приміщенні, здійснено системою загального рівномірного освітлення. Норма освітленості на робочий поверхні становить 200-300 лк. Як джерела штучного освітлення в приміщенні використовуються люмінесцентні лампи типу ЛБ, ЛД, які встановлені у світильники.

Заходи забезпечення оптимальних метеорологічних умов в робочій зоні приміщень (це простір, в якому знаходяться робочі місця постійного або тимчасового перебування працівників).

При забезпеченні оптимальних метеорологічних умов враховуються: холодний період року з середньодобовою температурою зовнішнього повітря нижче $+10^{\circ}\text{C}$ та теплий період з температурою $+10^{\circ}\text{C}$ і вище.

Метеорологічні умови в виробничих приміщеннях – температура повітря, відносна вологість повітря й швидкість його переміщення повинні відповідати вимогам ДСН 3.3.6.042-99 «Державні санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень» і ГОСТ 12.1.005-88 (1991) «ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны». Роботи в офісному приміщенні, належать до категорії Іб - легка робота, тому передбачені наступні оптимальні значення параметрів мікроклімату:

- у холодний період року: температура $21-23^{\circ}\text{C}$; відносна вологість: 40-60%; швидкість переміщення повітря: 0,1 м/с;

- у теплий період року: температура $22-24^{\circ}\text{C}$; відносна вологість: 40-60%; швидкість переміщення повітря: 0,2 м/с.

Для забезпечення і підтримки оптимальних значень параметрів мікроклімату широко використовуються кондиціонери – пристрої для підтримки оптимальних кліматичних умов в квартирах, будинках, офісах, автомобілях, а також для очищення повітря в приміщенні від шкідливих речовин. Кондиціонери та спліт-системи призначені для зниження температури повітря в приміщенні в теплу пору року, або (рідше) - підвищення температури повітря в приміщенні в холодну пору року. Крім основної функції регулювання температури кондиціонери можуть

забезпечувати вентиляцію приміщення, фільтрацію, зволоження та іонізацію повітря.

Заходи захисту від шуму дискомфортих октавних смугах частот.

Рівні звукового тиску в октавних смугах частот, рівні звуку та еквівалентні рівні звуку на робочих місцях у приміщення нормуються згідно ДСанПіН 3.3.2.007-98 «Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин» та ДСН 3.3.6.037-99 «Санітарні норми виробничого шуму, ультразвучу та інфразвучу».

Зниження рівня шуму в приміщенні здійснено за допомогою:

- використання більш сучасного обладнання;
- розташування принтерів та різноманітного устаткування колективного користування на значній відстані від більшості робочих місць працівників;
- переведення жорсткого диска в режим сну (Standby), якщо комп'ютер не працює протягом визначеного часу;
- використання блоків живлення ПК з вентиляторами на гумових підвісках.

В разі необхідності встановлюють шумопоглинаючі та шумоізолюючі огорожі.

4.4 Пожежна безпека

Комплекс протипожежних заходів для приміщення (лабораторії, офісу, тощо) обладнаного ПК з ВДТ розроблений згідно вимог НАПБ А.01.001-2014 «Правила пожежної безпеки в Україні».

Виходячи з аналізу речовин та матеріалів, які використовуються при роботі у приміщенні (лабораторії, офісу, тощо) обладнаному ПК з ВДТ:

- згідно ДСТУ EN 2:2014 «Класифікація пожеж (EN 2:1992, EN 2:1992/A1:2004, IDT)» у приміщенні (лабораторії, офісу, тощо) обладнаному ПК з ВДТ можлива пожежа класів – А (пожежа, що супроводжується горінням твердих матеріалів) та Е (горіння електроустановок, що перебувають під напругою до 1000 В);

- відповідно до вимог ДСТУ Б В.1.1-36:2016 «Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною безпекою», воно належить до категорії «Д» з пожежної безпеки – простір у приміщенні, у якому перебувають тверді горючі речовини та матеріали.

Оскільки приміщення (лабораторії, офісу, тощо) обладнане ПК з ВДТ належить до виробництв категорії «Д» з пожежної безпеки, тому згідно вимог ДБН В.1.1-7:2016 «Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги» воно має II ступінь вогнестійкості.

Згідно вимог ДБН В.2.5-56:2014 «Системи протипожежного захисту», в приміщенні (лабораторії, офісу, тощо) обладнаному ПК з ВДТ встановлена система пожежної й охоронної сигналізації «Сигнал-ВК6». Яка забезпечує виявлення теплових і димових ознак пожежі і місця виникнення пожежі з точністю до місця розміщення датчика.

Оскільки приміщення (лабораторії, офісу, тощо) що обладнане ПК з ВДТ має площу 39 м², тому відповідно до вимог п. 5 розділу VI «Вибір типу та необхідної кількості вогнегасників», «Правил експлуатації та типових норм належності вогнегасників», зареєстрованих в МЮ України 23.02.2018 р. за № 225/31677 для гасіння електроустановок, що знаходяться під напругою, передбачені вуглекислотні вогнегасники типу ВВК-3,5 у кількості 2 штук (з розрахунку один вогнегасник с величиною заряду вогнегасної речовини 3 кг. і більше, на 20 м² площі приміщення). Додатково, на кожному поверсі будівлі, в якій розміщене приміщення обладнане ПК з ВДТ, передбачене два переносних порошкових вогнегасника – ВП-5. Відстань між вогнегасниками та місцями можливих загорянь не перевищує 10 м.

4.5 Порядок дій персоналу в умовах НС

Заходи які пов'язані з безпекою роботи в умовах надзвичайних ситуацій. Порядок дії сил цивільної оборони (ЦО) при ліквідуванні наслідків стихійних лих.

У більшості випадків стихійні лиха супроводжуються загибеллю матеріальних цінностей, а іноді і людськими втратами. Тому при ліквідації стихійних лих основним завданням сил ЦО є врятування людей і «по можливості» матеріальних цінностей. Успіх дій формувань багато в чому залежить від своєчасної організації проведення розвідки й обліку конкретних умов обстановки. Оскільки стихійні лиха виникають раптово оповіщення о.с. формувань, їх комплектація і створення угруповань сил ЦО повинні проводитися в найкоротший термін. Виступ формувань з районів збору в райони дій повинен здійснюватися з максимально можливою швидкістю. Командири формувань у районах робіт повинні постійно знати обстановку і, у відповідності з її зміною, уточнювати раніше поставлене чи ставити нові завдання підрозділами. Прогнозувати загрози повеней дозволяє своєчасно здійснити комплекс попереджувальних заходів, які значно зменшують можливі збитки, а також створити сприятливі умови для проведення рятувальних та інших невідкладних робіт у зонах затоплення. Зміст цих заходів і їх обсяг визначаються часом попередження повеней.

Так, масштаби повеней, які викликаються весняними водами, можна прогнозувати за місяць і навіть більше завдяки спостереженням органами гідрометеослужбами, визначенню висоти снігового покриву і встановленню залежності виникнення повеней від нього, визначення запасів вологи в ґрунті, знанню строків скресання річок, температури повітря в період паводку і т. д. Отже, можна заздалегідь провести протипаводкові заходи.

При паводках, які викликаються заторами, час попередження звичайно обчислюється кількома годинами, тобто він значно менше, ніж у

розглянутому вище випадку. Але з огляду на те, що місця постійних заторів відомі, запобіжні заходи можна вжити задовго до льодоходу. Паводки, які викликаються випаданням рясних злив та інтенсивним таненням льодовиків, прогнозується на основі багаторічних спостережень.

Про майбутню небезпеку повенів чи селевого потоку оповіщається всі організації та населення. Начальники, штаби і служба ЦО приводять у готовність формування, які залучаються до ведення боротьби зі стихійним лихом, ставлять їм завдання, вказують послідовність, способи і терміни виконання, уточнюють питання взаємодії і організують управління.

Для виявлення і уточнення установки організується розвідка. Найбільш оперативною є повітряна, яка до того ж дає можливість одержання інформації про значні території. Більш точний стан поблизу гребель і мостів визначають, використовуючи дані наземної розвідки.

4.6 Висновок

В ході написання розділу охорона праці та безпеки у надзвичайних ситуаціях було визначені потенційні небезпеки різних методів виготовлення крутозігнутих колін. Були розроблені заходи по забезпеченню безпеки метода проштовхування через криволінійний канал матриці. Запропонований комплекс технологічних заходів, який пов'язаний з принципово новою технологією виготовлення крутозігнутих колін, за якою в значній мірі мінімізуються зазначені небезпеки. Також розглянуті гігієна виробництва та санітарія праці, пожежна безпека та порядок дій персоналу в умовах надзвичайних ситуацій.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Боровков В.М., Калюкин А.А. Изготовление и монтаж технологических трубопроводов. Москва. Издательский центр «Академия» 2007. – 240с.
2. Тавастшерна Р.И. Изготовление и монтаж технологических трубопроводов: Учебник для техникумов – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1986. – 286с., ил.
3. Тавастшерна Р.И. Изготовление и монтаж технологических трубопроводов. Учеб. пособие для проф. техн. училищ индивидуального и бригадного обучения, рабочих на производстве. М.: «Высшая школа» 1967. – 287с., ил.
4. Севастьянов М.И. Технологические трубопроводы нефтеперерабатывающих и нефтехимических заводов.
5. Монтаж трубопроводов. Справочник рабочего. А. А. Персион, К. А. Гарус. – К.: Будівельник, 1987. – 208с.
6. В. В. Филиппов Технологические трубопроводы и трубопроводная арматура. уч. пособие 65с.
7. Руководство по безопасности «Рекомендация по устройству и безопасной эксплуатации технологических трубопроводов». Серия 03. Выпуск 67. – М.: ЗАО. «Научно — технологический центр исследований проблем промышленной безопасности», 2013. – 194с.
8. Общество с ограниченной ответственностью «Сантехстрой». Отводы стальные крутоизогнутые на $P_y \leq 1,6$ Мпа ТУ 1468-002-90155469-2012. Московская область, г. Подольск 2012г.
9. Анурьев В. И. Справочник конструктора машиностроителя в 3-х томах. Т. 3. – 9-е изд., перераб. и доп./ под ред.И. Н. Жестковой. – М.: Машиностроение, 2006. – 928с.

10. Журнал «Эксплуатация и обслуживание». Изд. «Мотор Сич». 2008. – 21с.
11. Международный стандарт отводы крутоизогнутые типа 3D (R=1,5DN) ГОСТ 17375-2001.
12. ДП «Разработка технологии и освоения производства медных отводов в условиях предприятия «Метапром» А. В. Успасский.
13. Статья «Технологический процесс изготовления крутоизогнутых отводов непрерывной протяжкой трубных заготовок по роогообразному сердечнику». Агбалян Г. С.
14. С. И. Феокистов, Б. И. Марьин, С. Б. Марьин, Д. Г. Копыхалов «Теория и практика изготовления элементов трубопроводов летательных аппаратов». Учеб. пособие под общ. ред. С. И. Феокистова. – Комсомольск – на – Амуре, 2013. – 88с.
15. Лукьянов В. П., Маткова И. И., Бойко В. А. Штамповка, гибка деталей для сварных сосудов, аппаратов и котлов. М.: Машиностроение, 2003. – 512с.
16. А. И. Гальперин. Гнутье труб. Гос. издательство литературы по строительству. Москва 1958, 113с.
17. С. Б. Сидельников, Р. И. Галиев, Д. Ю. Горбунов, Е. С. Лопатина, А. С. Пещанский: Основы технологических процессов обработки металлов давления: конспект лекций. Красноярск ИПК СФУ 2008. – 95с.
18. Новая технология холодной гибки труб. С. Б. Лакирев, Я. М. Хилькевич, А. В. Козлов. Химическое и нефтегазовое машиностроение. – 1997. 69с.
19. А. И. Гальперин «Машины и оборудование для гнутья труб». Изд. 2-е, перер. и доп. Издательство М.: Машиностроение, 1967. – 179с.
20. Конечно – элементарный анализ процесса формообразования крутоизогнутых деталей из труб методом проталкивания. В. Д. Маслов, К. А. Николенко, В. Д. Мисюра, К. А. Николенко. Журнал «Известие Самарского научного центра Российской академии наук, том 15.

21. Статья «Использование многочленов Чебышева для анализа изгиба проталкиванием трубной заготовки». В. Д. Маслов, В. Д. Мисюра, А. А. Казарина. Журнал «Известия Самарского научного центра Российской академии наук», том 18.
22. Данилов Ю. А. Многочлены Чебышева. Минск: Высшая математика, 1984. – 157с.
23. С. Я. Головин Особые виды литья. Краткие справочные материалы. Государственное научно – техническое издательство машиностроительной литературы. Москва: 1959. – Ленинград, 455с.
24. Юдин С. Б., Левин М. М., Розенфельд С. Е., Центробежное литье. М.: «Машиностроение», 1972, 280с.
25. Ж. П. Дусанюк, О. П. Шиліна, С. В. Репінський, С. В. Дусанюк Проектування та виробництво заготовок деталей машин. Літї заготовки. Навчальний посібник. – Вінниця: ВНТУ, 2009. – 199с.
26. Акулов А. И., Сокол И. А., Сварка трубопроводов из цветных металлов. Госстройиздат, 1962.
27. Статья «Разработка мероприятий по улучшению качества продукции в условиях обособленного подразделения АО «Соединительные отводы трубопроводов» Адищев П. Г., Ильина Н. Н. Журнал моделирование и развитие процессов ОМД.
28. Мікульонок І. О. Виготовлення, монтаж та експлуатація обладнання хімічних виробництв: підручник./І. О. Мікульонок. – К.:НТУУ «КПІ», 2010. – 412с. Бібліограф: с. 405-407-500пр.
29. Паспорт на прес кривошипний КА2330.
30. Паспорт на прес типа ПГ-100А руководство по монтажу и эксплуатации.
31. Пресс гидравлический модели П481А.
32. Ссылка с интернета: uksim-oz.ru/laboratornyye-mufelnyye-pechi/
33. Монтгомери Д. К. Планирование эксперимента и анализ данных: Пер. с англ. – Л.: Судостроение, 1980. – 384 с., ил.

34. Хартман К Планирование эксперимента в исследовании технологических процессов. Издательство «Мир», Москва.

35. Дипломное проектирование : методические рекомендации для студентов технических специальностей : общие требования к выполнению раздела "Охрана труда" / Белорусско-Российский университет ; сост. С. Д. Галюжин [и др.]. - Могилев : Белорусско-Российский университет, 2015. - 27 с

36. Данилко, Б. М. Пособие по выполнению раздела "Охрана труда" в дипломном проекте для студентов специальностей 1-36 01 01 "Технология машиностроения", 1-36 01 03 "Технологическое оборудование машиностроительного производства", 1-53 01 01-01 "Автоматизация технологических процессов и производств (машиностроение)", 1-36 01 06 "Оборудование и технология сварочного производства", 1-36 02 01 "Машины и технология литейного производства", 1-42 01 01 "Металлургическое производство и материалобработка" (по направлениям) / Б. М. Данилко, А. М. Лазаренков ;. Белорусский национальный технический университет, Кафедра "Охрана труда". - Минск : БНТУ, 2015. - с. : ил.

37. Важенкова, Т. Н. Трудовое право / Т. Н. Важенкова. - Минск : ТетраСистемс, 2011. - 192 с.