

**Міністерство освіти і науки України  
Поліський національний університет**

**Факультет інженерії та енергетики**

ДО ЗАХИСТУ ДОПУЩЕНИЙ  
Завідувач кафедри механіки та  
інженерії агроєкосистем,  
д. т. н., професор  
\_\_\_\_\_ Б. А. Шелудченко  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2024 р.

**РОЗРАХУНКОВО-ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА**

до дипломного проекту

на тему: «Розроблення штампу для гідроформування гвинтоподібних труб»

ДП.133.020.001.00.ПЗ

Виконав студент групи ГМ-20:  
\_\_\_\_\_ В. О. Арзанцев

Керівник: д. т. н., професор  
\_\_\_\_\_ Р. І. Сивак

Житомир 2024

Міністерство освіти і науки України  
Поліський національний університет

Факультет інженерії та енергетики  
Кафедри механіки та інженерії агроєкосистем

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри механіки та  
інженерії агроєкосистем,

д. т. н., професор

\_\_\_\_\_ Б. А. Шелудченко

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2024 р.

**ЗАВДАННЯ**  
на дипломний проєкт

студенту *Арзанцеву Віталію Олександровичу*

на тему *Розроблення штампуння для гідроформування гвинтоподібних труб*

Термін подання дипломного проєкту

на кафедрі для попереднього захисту 2.05.2024 р.

Вихідні дані для проєкту зовнішній діаметр труби –  $D_{тр}=38$ мм;  
товщина стінки труби – 1мм; марка сталі – AISI304; модуль пружності –  
 $E=210,3$ ГПа; коефіцієнт Пуасона –  $\nu=0,3$ ; коефіцієнт тертя – 0,1;  
методичні вказівки до виконання дипломних проєктів.

## Календарний план виконання магістерської роботи

Структура роботи	Обсяг сторінок	Термін підготовки
Анотація		24.10.23
Вступ		30.11.23
Розділ 1		29.12.23
Розділ 2		28.02.24
Розділ 3		15.03.24
Висновки		29.03.24
Список використаних джерел		24.04.24

Термін подання роботи на кафедру

Для попереднього захисту «\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2024 р.

Завдання видав

Керівник: д. т. н., професор Сивак Роман Іванович

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2024 р.

Підпис \_\_\_\_\_

## Анотація

Арзанцев В. О. *Розроблення штампю для гідроформування гвинтоподібних труб.*

Поліський національний університет, факультет інженерії та енергетики, кафедра механіки та інженерії агроєкосистем.

Обсяг пояснювальної записки – 31 стор., рисунків – 23, специфікації – 1 арк., креслень формату А3 – 4 арк.

Метою роботи є підвищення експлуатаційних характеристик профільованих труб шляхом розробки конструкції штампю для гідроформування гвинтоподібних труб.

Для розв'язку поставленої задачі спочатку виконується аналіз сучасного стану досліджень формування тонкостінних труб з утворенням гвинтових та кільцевих канавок. Наступним етапом є ознайомлення з сферою застосування профільованих труб та з огляду на це визначаються шляхи вирішення поставленої задачі. Також здійснюється аналіз способів виготовлення гвинтоподібних труб попередньою операцією профілювання смуги та роликівим обкочуванням.

Запропонована конструкція обладнання для виготовлення гвинтоподібних труб роликівим обкочуванням та технологія їх виготовлення. Розроблено конструкцію штампю для гідро формування гвинтоподібних труб. Запропонована конструкція штампю для обкочування роликом значно покращує процес формування профільованих труб. Використання такого обладнання та дотримання технології формозмінення труб дозволяють підвищити їх експлуатаційні властивості та отримати значний економічний ефект.

На основі методу скінчених елементів та із застосування спеціалізованої програмної системи здійснено моделювання процесу роликівого обкочування гвинтоподібних труб.

## Зміст

Вступ.....	4
Розділ 1. Сучасний стан досліджень формування тонкостінних труб з утворенням гвинтових та кільцевих канавок.....	5
1.1. Сфера застосування профільованих труб.....	5
1.2. Виготовлення гвинтоподібних труб попередньою операцією профілювання смуги та роликів обкочуванням.....	8
Розділ 2. Конструювання обладнання для виготовлення гвинтоподібних труб роликів обкочуванням.....	11
2.1. Формування профільованих труб рідинним середовищем.....	11
2.2. Розробка конструкції штампів для гідроформування гвинтоподібних труб .....	13
Розділ 3. Моделювання процесу роликів обкочування гвинтоподібних труб .....	17
3.1. Моделювання на основі методу скінчених елементів.....	17
3.2. Модель процесу роликів обкочування .....	20
Висновки.....	23
Список використаних джерел .....	24
Додатки.....	26

					<b>ДП.133.020.001.00.ПЗ</b>					
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	<b>Розроблення штампів для гідроформування гвинтоподібних труб</b>			<i>Літера</i>	<i>Аркуш</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Розробив</i>	<i>Арзанцев В. О.</i>	<i>Сивак Р. І.</i>								
<i>Перевірів</i>										
<i>Н. контр.</i>	<i>Сивак Р. І.</i>							<i>Поліський національний університет, гр. ГМ-20</i>		
<i>Затв.</i>	<i>Шелудченко Б. А</i>									

## ВСТУП

Збільшення коефіцієнту корисної дії установок для перекачування газу залежить від ефективності регенераторів теплоти. Основними вимогами до таких регенераторів є зменшення металоємності та габаритів. Більшість цих пристроїв є морально застарілими і фізично зношеними. Вони встановлюються на виході з газової турбіни і повинні бути більш економічними. Підвищення теплоаеродинамічної ефективності регенераторів з гладкими круглими трубами вже практично неможливе. Використання теплообмінних поверхонь у вигляді гвинтоподібних труб забезпечить зниження їх маси майже в два рази у порівнянні з поверхнями із гладких круглих труб. Також використання таких труб підвищить коефіцієнт корисної дії газотурбінних установок на 20%. Гвинтоподібні труби з рівнорозвинутими поверхнями теплообміну мають однаковий розвиток як внутрішньої, так і зовнішньої поверхні. Тому їх найбільш доцільно застосовувати, оскільки за рахунок цього досягається подвійний ефект інтенсифікації тепловіддачі як із сторони внутрішнього так і зовнішнього теплоносіїв.

Рівень технологічного забезпечення виробництву гофрованих труб з складною геометрією недостатній. Виготовлення гвинтоподібних труб з рівнорозвинутими поверхнями теплообміну не завжди відповідає сучасним вимогам за матеріало- та енергоємністю. Також залишається недостатньою наукова база для їх виробництва. Розв'язок цієї задачі можливий за умови впровадження у виробництво способів формування гвинтових канавок на трубах роликівим обкочуванням. Нові технології виготовлення гвинтоподібних труб обкочуванням роликами використовуються для отримання теплообмінних поверхонь в газотурбінних установках.

					<b>ДП.133.019.001.06.ПЗ</b>	Арк.
						6
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## Розділ 1

### Сучасний стан досліджень формування тонкостінних труб з утворенням гвинтових та кільцевих канавок

#### 1.1. Сфера застосування профільованих труб

В якості поверхонь нагріву використовуються біметалічні оребрені труби круглого профілю. Застосування їх в апаратах повітряного охолодження є дорогим через високу вартість елементів з алюмінію. Крім того їх виробництво досить енергозатратне. Аеродинамічний опір пакетів оребрених труб круглого профілю в 1,3...1,5 раз вище у порівнянні з пакетами труб овального профілю [1].

Новий тип оребрених труб плоско-овального профілю з неповним оребренням (рис. 1.1) використовується в теплообмінних пристроях. Такий тип труб дозволяє досягати високої ступені розвитку поверхні, високого рівня питомого теплост'єму та суттєво знизити аеродинамічний опір. Високопродуктивна та дешева технологія контактного зварювання забезпечує практично ідеальний термічний контакт між ребром та стінкою несучої труби [2].

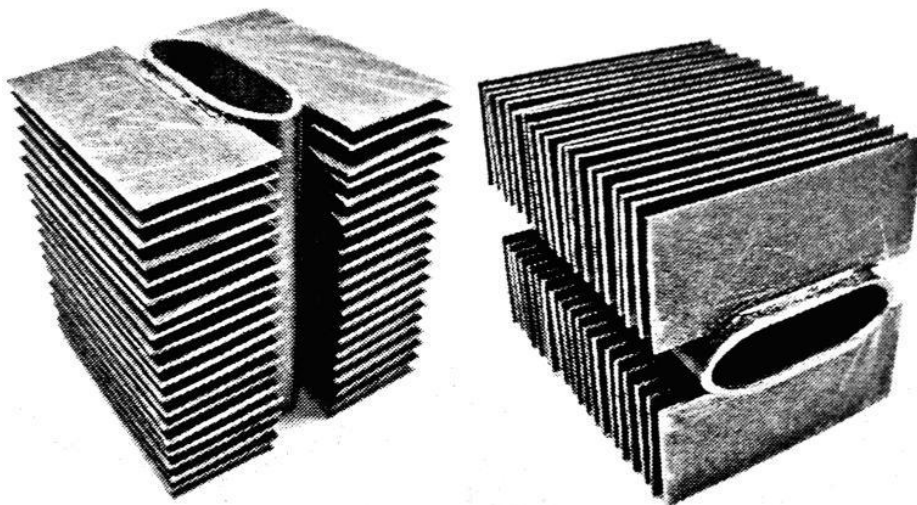


Рисунок 1.1 - Плоско-овальна труба з неповним поперечним оребренням

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДП.133.019.001.07.ПЗ

Арк.

7

На рис. 1.2 показані одні із типів турбулізаторів. Серед представлених поверхонь з турбулізаторами найкращими по тепловіддачі та перепадові тиску є поверхні із труб з перетисками. Використання таких поверхонь в теплообмінному апараті зменшує його масу та габарити більш ніж в 2 рази. За рахунок цього також забезпечується компактність апарату по відношенню до такого ж із гладких труб. Переваги такої труби полягають в дешевій та доступній технології виготовлення. Виготовлення турбулізаторів у вигляді кілець та спіралі значно складніше.

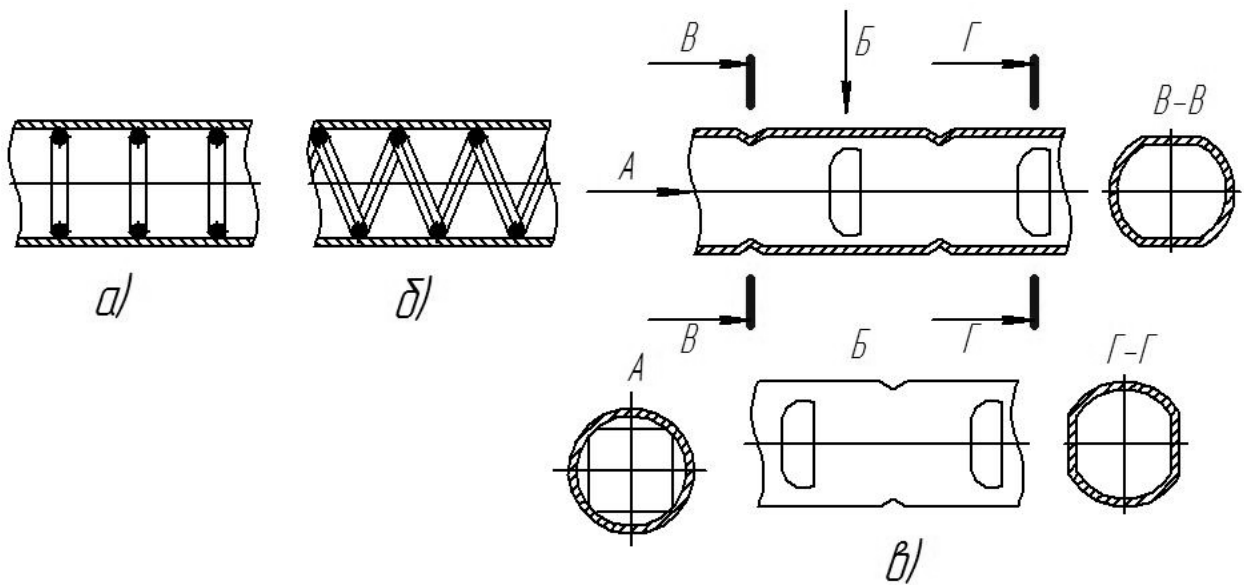


Рисунок 1.2 - Типи турбулізаторів:

а – кільця з дроту; б – спіраль з дроту; в – перетиски труби

В масштабних системах теплопостачання та гарячого водопостачання в основному встановлювалися секційні підігрівачі. Такі теплообмінні апарати, складаються з кількох послідовно з'єднаних секцій (рис. 1.3). Ці секції є невеликим трубним пучком 2, який розміщується в кожусі 1. кожух виконується з труби великого діаметру. Секції з'єднуються між собою калачами і переходами. Кожна секція це кожух з привареними трубними решітками, в яких розташовані развальцьовувані латунні труби товщиною 1 мм і діаметром 16 мм. Поперечно-гвинтовими або кільцевими канавками



труб інтенсифікують теплообмін усередині. Підігріта вода тече всередині труб, а та що гріє тече в кожусі [3].

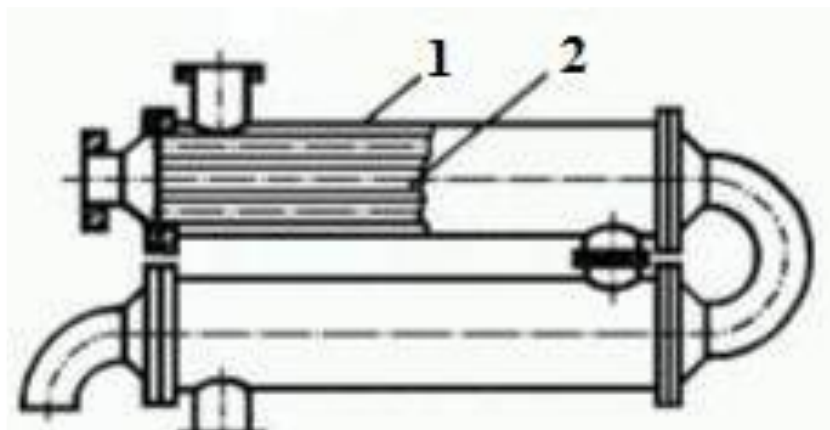


Рисунок 1.3 - Кожухотрубний теплообмінний апарат

Водоводяні теплообмінні апарати для енергетики та комунального господарства замінили секційні і блокові. Їх типовими представниками є підігрівачі водоводяні розбірні (рис. 1.4). До основних вузлів конструкції цих апаратів, які є кожухотрубними теплообмінниками горизонтального типу, відносяться: 1, 4 – вмонтовані з можливістю заміни передня і задня водняні камери; 2 – корпус, 3 – трубна система, 5 – вмонтована з можливістю заміни кришка корпусу. Корпус підігрівача є вальцьованими обичайками, або сталевими трубами. Трубна система це сталеві трубні дошки із завальцьованими в них прямими трубками діаметром 16 мм і товщиною 1 мм із латуні [4].

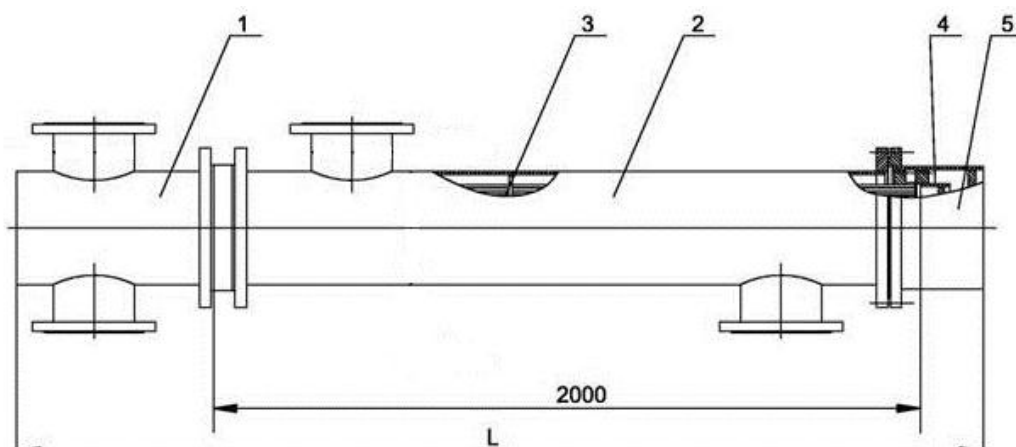


Рис. 1.4. Принципова схема підігрівача водоводяного розбірного

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДП.133.019.001.09.ПЗ

Арк.

9

## 1.2. Виготовлення гвинтоподібних труб попередньою операцією профілювання смуги та роликівим обкочуванням

Способи формування гвинтоподібних труб [5] схожі за реалізацією. Попередньо спрофільовані смуги формуються у гвинтоподібну трубу. Це відбувається шляхом скручування смуги в трубу. Наступним етапом є зварювання цих витків смуги по гвинтовій лінії. На рис. 1.5 показана схема виготовлення гвинтоподібних труб з попередньо спрофільованої смуги.

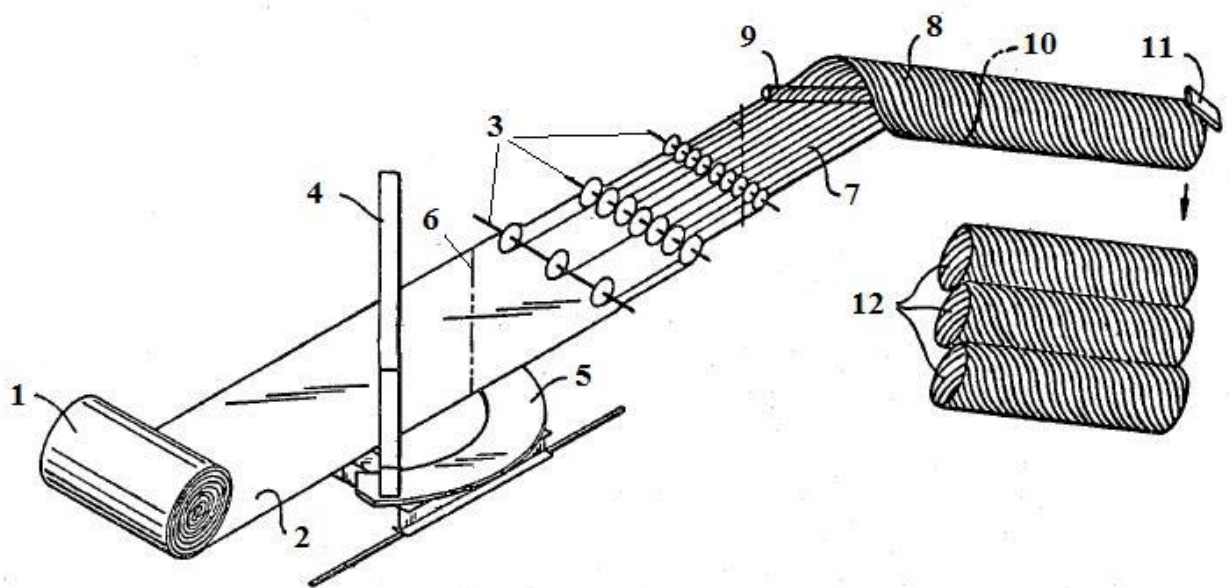


Рисунок 1.5. Схема способу виготовлення гвинтоподібних труб з попередньо спрофільованої смуги

Спосіб [21] виготовлення гвинтоподібних зварних двошарових труб при попередній формовці труби здійснюється згортанням смуги валками та формуванням обичайки, утворенням зварювання прямого шва та формуванням під тиском ролика на зварній трубі гвинтових канавок. При цьому ролик обертається навколо осі труби. Після цього відбувається процес різання отриманої гвинтоподібної труби на заготовки певного розміру. Цей спосіб схематично показаний на рис. 1.6. Спочатку з рулону розмотується

смуга 1, потім на неї соплом 2 наноситься клей 3. Органічна або неорганічна смуга 4 валком 5 приєднується до металевої смуги 1. Утворена двошарова смуга 6 валками 7 згинається в двошарову смугу 6. Отримана обичайка внутрішньою стороною складається із матеріалу смуги 4. Кромки 8 обичайки зварюють зварним електродом 9, утворюючи таким чином двошарову трубу 10. Гвинтові канавки 11 на трубі 10 формуються втисненням в трубу роликком 12. Ролик разом із прикріпленим до нього кільцем 13 обертається навколо осі труби. Кільце 12 обертається роликком 14.

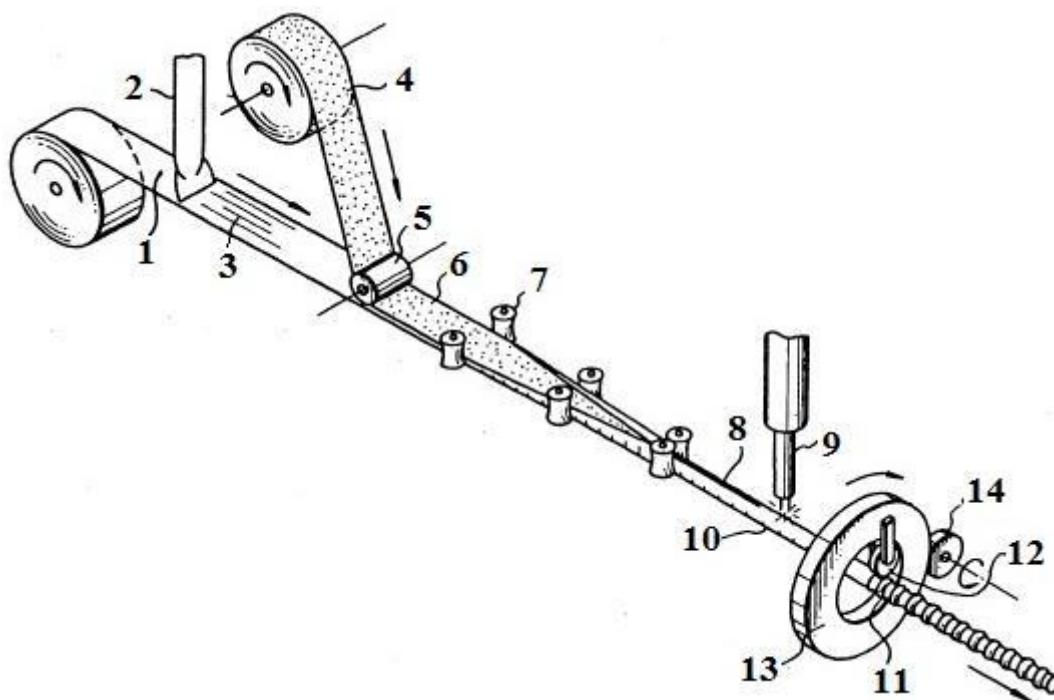


Рис. 1.6. Схема способу виготовлення зварної двошарової теплообмінної труби

Спосіб [22] переміщення труби 1 зі швидкістю між роликками 2, що розвернуті на певний кут відносно поздовжньої осі труби 3 показаний на рис. 1.7. Ролики 2 втискаються в трубу 1 переміщуються радіально до осі труби 3, формують гвинтові впадини 4 і виступи 5. Взаємодія з трубою 1 приводить до обертання роликків 2 осях 6. Спрофільована частина труби 1 зі швидкістю переміщується в осьовому напрямку й обертається навколо осі труби 3 з

певною кутовою швидкістю . Таким чином на заготовці труби 1 із певним зовнішнім діаметром і товщиною стінки, отримують ділянку з гвинтовими канавками з певним значенням діаметру виступів, впадин, висотою виступів і кутом підйому гвинтової лінії [6].

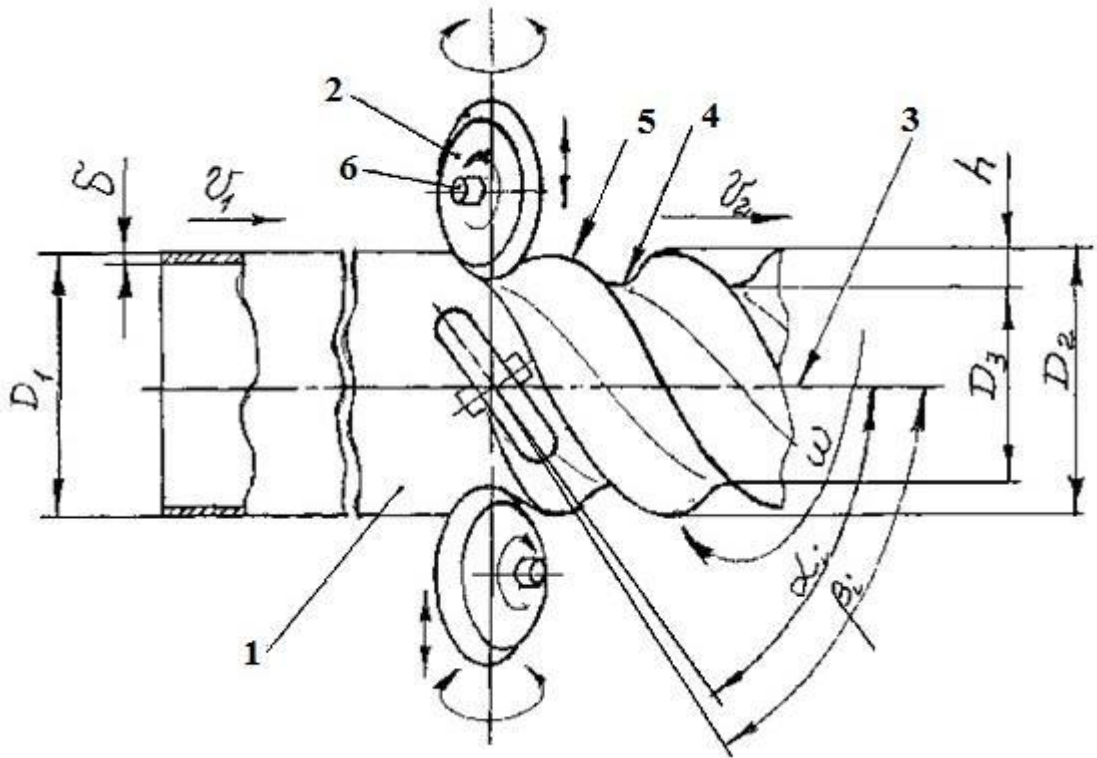


Рис. 1.7. Спосіб виготовлення багатозахідних гвинтоподібних труб одночасним деформуванням кількома роликами

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДП.133.019.001.12.ПЗ

Арк.

12

## Розділ 2

### Конструювання обладнання для виготовлення гвинтоподібних труб роликним обкочуванням

#### 2.1. Формування профільованих труб рідинним середовищем

Спосіб виготовлення сильфонів формовкою гідростатичним тиском рідини з середини заготовки [7] здійснюється в два переходи на спеціальній установці (рис. 2.1). Заготовкою є труба, отримана багатоперехідною витяжкою з потоншенням та подальшим ротаційним витягуванням, з товщиною стінки 0,2 – 0,3 мм із латуні або нержавіючої сталі.

Попереднє формування заготовки 4 здійснюється в кільцевій розрізній матриці 3, яка кріпиться по кінцям цанговими затисками 2 на оправках 6 та 7. Затиски і оправки встановлюються на рухомій та нерухомій обоймах 1 та 5. Через центральний отвір в оправці 6 в середину заготовки під тиском подається робоча рідина. Створений таким чином тиск рідини деформує заготовку. В результаті утворюються неглибокі кільцеві виступи певним радіусом [8].

Рухома обойма 1 переміщуються на протилежну сторону. Кільцеві напівматриці 3 наближаються назустріч одна до одної і піддають заготовку осьовому стиску і збільшують в діаметрі отримані на початку кільцеві виступи [9].

Завершальним етапом деформування є калібровка кільцевих виступів за допомогою підвищеного внутрішнього тиску рідини при зімкнутих матрицях. Після калібровки робоча рідина випускається з порожнини сильфона. Видалення готового виробу відбувається шляхом розведення в сторони секційних напівматриць [10].

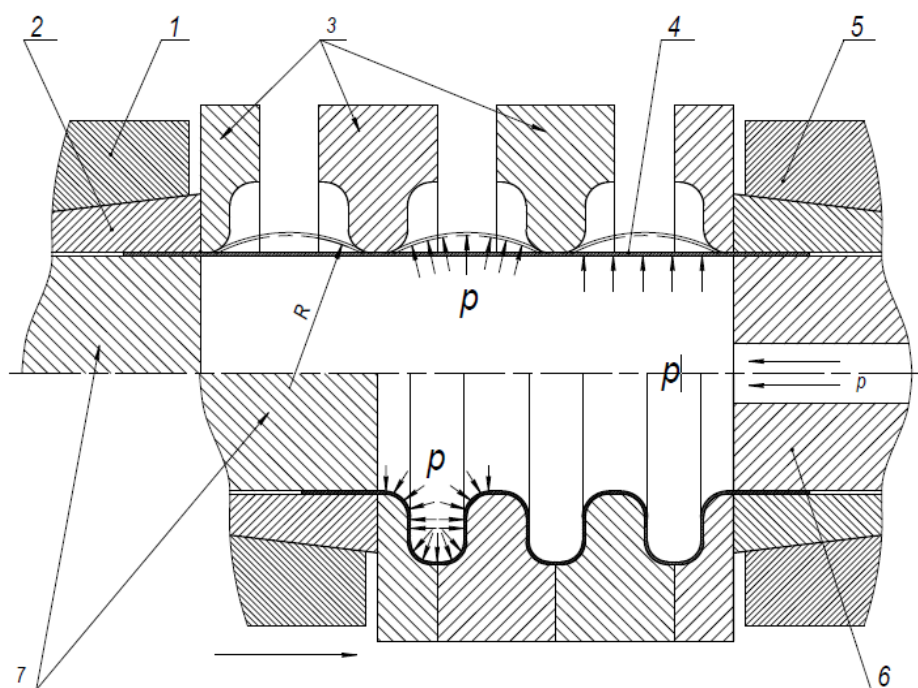


Рисунок 2.1. Спосіб формовки гідростатичним тиском рідини з середини заготовки

На рис. 2.2 показано результати комп'ютерного моделювання оцінки циклічної довговічності, а на рис. 2.3 показані етапи імітаційного процесу гідроформування виробу.

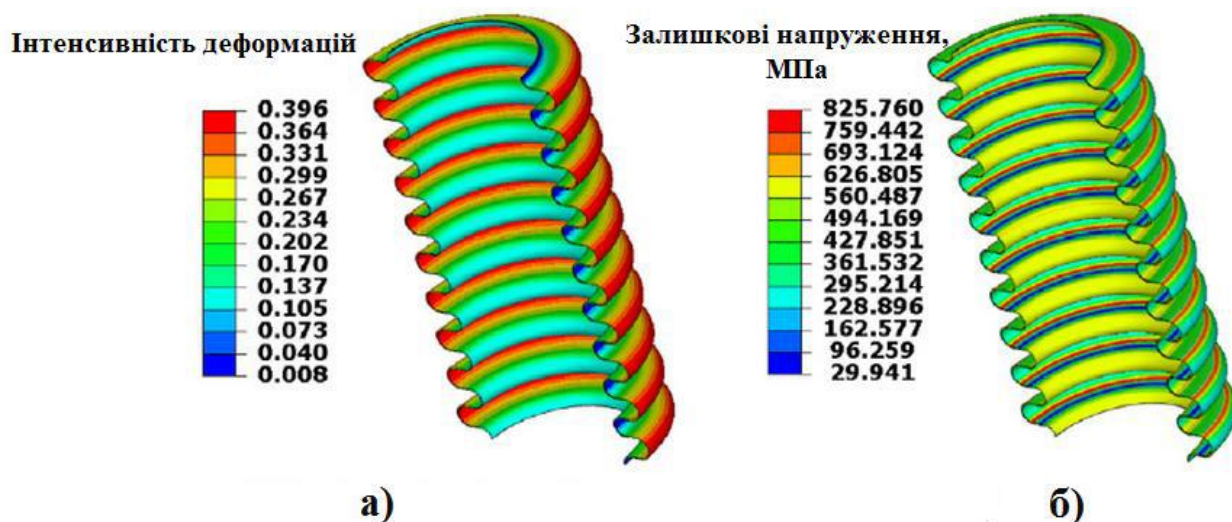


Рисунок 2.2 - Розподіли інтенсивності деформацій по Мізесу (а), залишкових напружень (б)

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

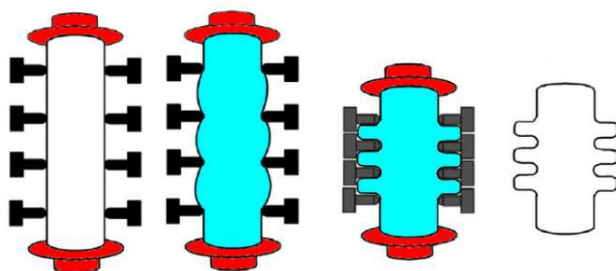


Рисунок 2.3 - Етапи процесу гідроформування виробу тиском рідини із середини

На рис. 2.4 показана конструкція установки для формування шліцьових оболонок. Вона включає в себе вмонтований на стіл гідропресу пристрій високого тиску і працює наступним чином. Нижня порожнина контейнера 3 заповнена робочою рідиною. Штамп 6 опирається на верхній торець нижньої розточки каналу контейнера та притискається з певною силою від гідравлічного циліндра 7 до цього торця. Піднятий в крайнє верхнє положення плунжер 1 звільняє канал контейнера і на нижню оправку 5 штамп 6 встановлюється оболонка 4 [11].

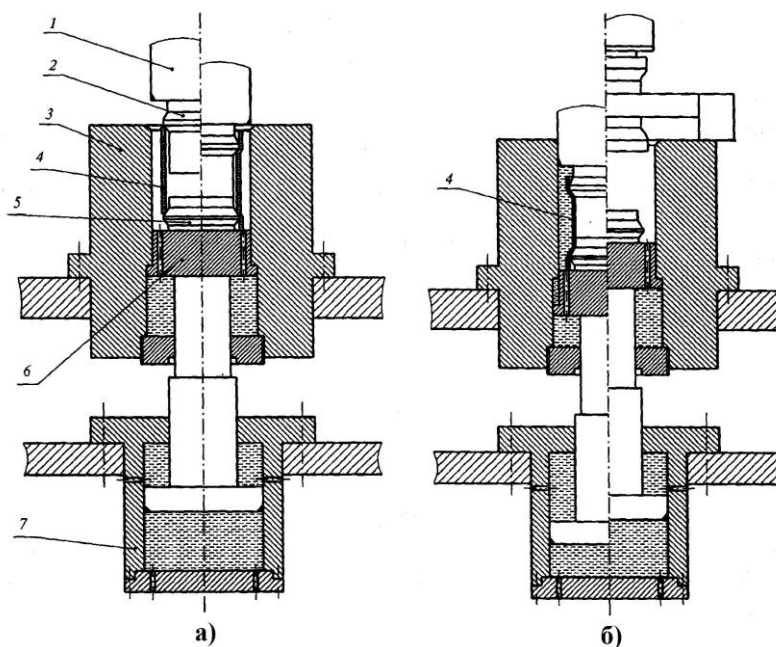


Рисунок 2.4. Конструкція установки для пластичної деформації циліндричних оболонок рідиною високого тиску: а – формування, б – калібрування

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДП.133.019.001.15.ПЗ

Арк.

15

Спосіб [12] формування гвинтових канавок на трубчастих тонкостінних заготовках гідростатичним тиском в початковому стані і в стані формування показаний на рис. 2.5.

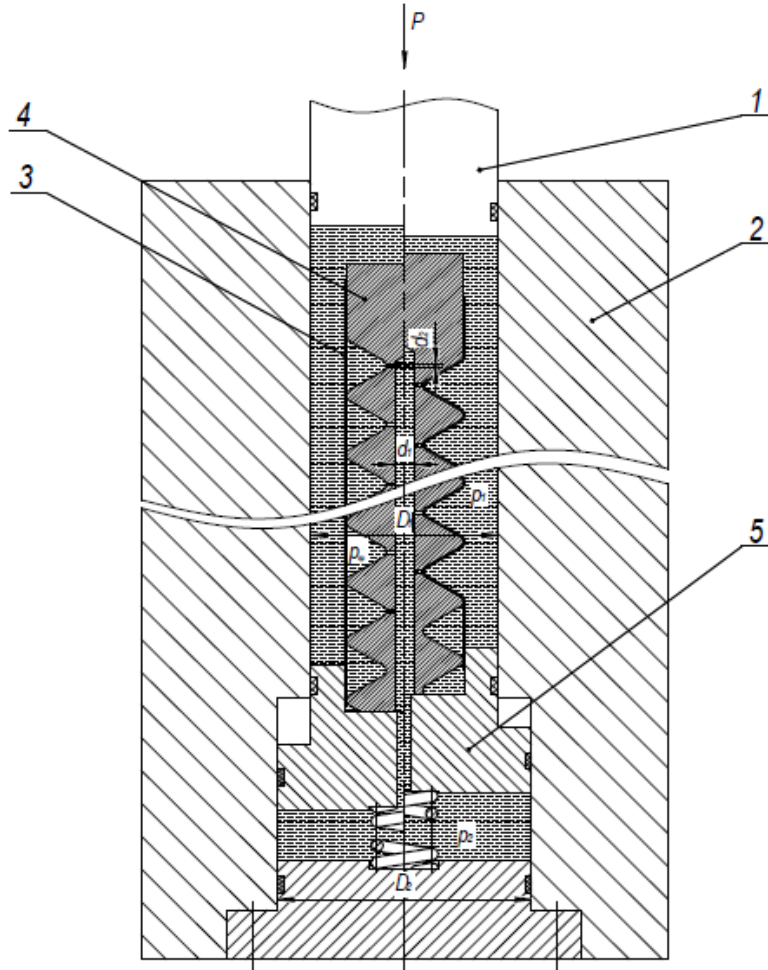


Рисунок 2.5 - Схема формування тонкостінних труб з гвинтовими канавками

## 2.2. Розробка конструкції штампу для гідроформування гвинтоподібних труб

На основі досліджень [13-15] розроблено пристрій для гідроформування гвинтоподібних труб. На рис. 2.6 показаний кресленик штампу в кінці формування канавки на трубі.



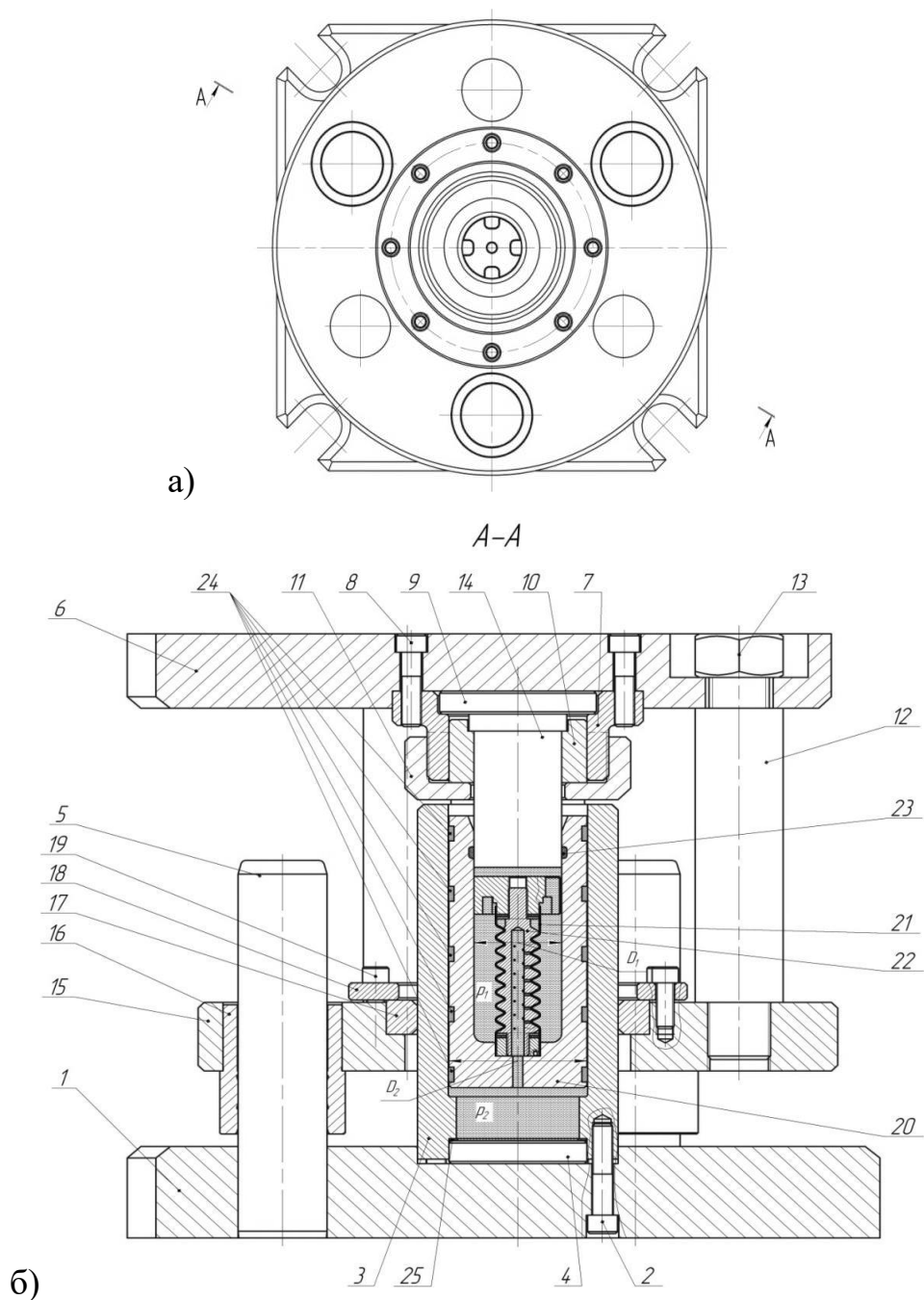


Рисунок 2.6 - Вид зверху штампа для гідроформування гвинтоподібних труб без верхньої плити (а) і перетин А-А штампу: 1 – плита нижня, 2 – гвинт, 3 – корпус, 4 – підкладка нижня, 5 – колонка, 6 – плита верхня, 7 – пуансонотримач, 8 – гвинт, 9 – підкладка верхня, 10 – втулка центрувальна, 11 – кришка, 12 – колонки верхні, 13 – гайки, 14 – пуансон, 15 – плита проміжна, 16 – втулка, 17 – кільце центрувальне, 18 – кришка, 19 – гвинти, 20 – поршень, 21 – деталь, 22 – оправки з пробками збірна, 23 – ущільнення, 24 – кільця ущільнюючі, 25 – ущільнення нижнє

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДП.133.019.001.17.ПЗ

Арк.

17

Недоліки технології гідроформування: отримання профілю певної незмінної форми, складність реалізації та застосування даної технології під формування виробів довжиною більше 1 м, висока вартість установки, складне штампове оснащення, висока металоємність конструкції, необхідність герметизації робочого середовища під високим тиском.

					<i>ДП.133.019.001.18.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

## Розділ 3

### Моделювання процесу роликового обкочування гвинтоподібних труб

#### 3.1. Моделювання на основі методу скінчених елементів

В моделі процесу обкочування однозахідної гвинтоподібної труби (рис. 3.1, а) і моделі процесу багатороликового (трьохроликового) обкочування (рис. 3.1, б) створених в спеціалізованій програмній системі матеріал задавався як пружно-пластичний з ізотропним зміцненням.

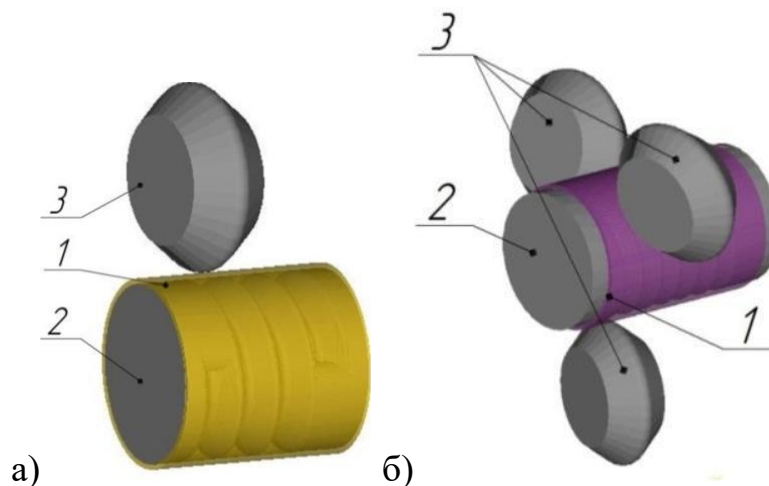


Рисунок 3.1 - Моделі процесів, що створені в спеціалізованому програмному продукті (1 – труба-заготовка, 3 – ролик): а – процес обкочування однозахідної гвинтоподібної труби на оправці з гвинтовою канавкою 2; б – процес обкочування трьохзахідної гвинтоподібної труби на трьохзахідній оправці 2

Оцінимо вплив розміру скінченого елемента на точність чисельного розрахунку процесу втискування ролика. Для цього виберемо точку в зоні локальної деформації на зовнішній поверхні труби під роликом. З графіків залежності інтенсивності деформацій (рис. 3.2) від переміщення ролика у

вибраній точці впливає, що прийнятний розмір скінченого елемента для розв'язку задачі повинен бути не більше 0,6 мм.

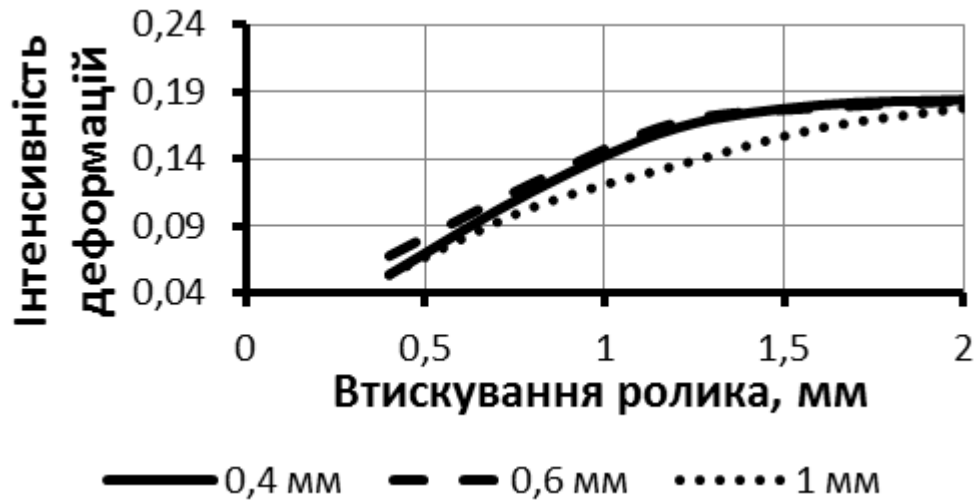


Рисунок 3.2 - Залежності інтенсивності деформацій від глибини втискування ролика у вибраній точці при різних розмірах скінчених елементів

На рис. 3.3. показані етапи процесу моделювання гвинтоподібної труби

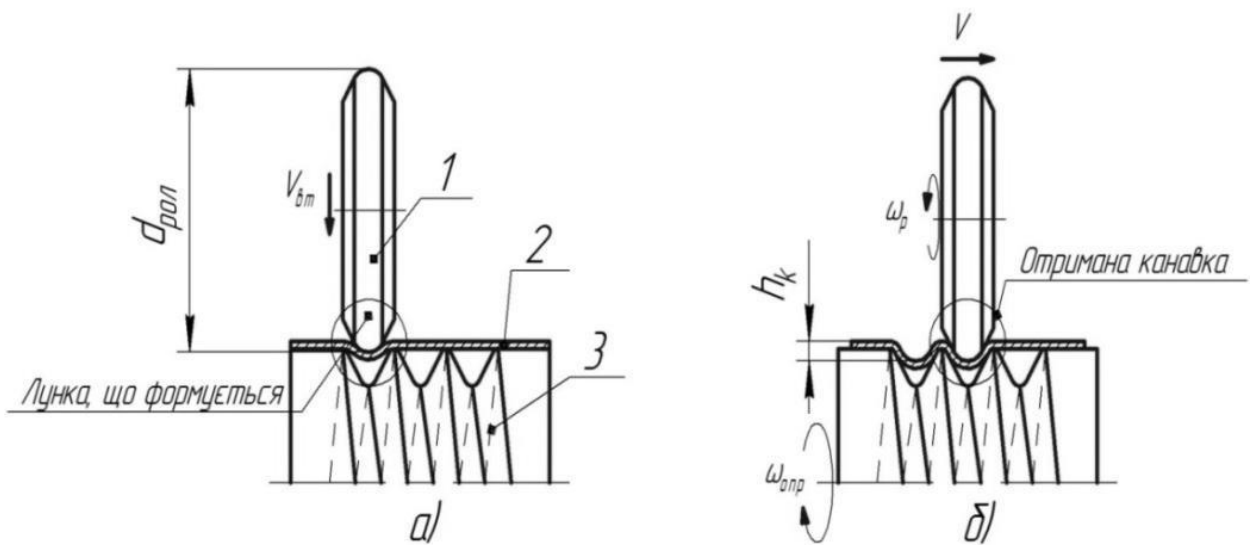


Рисунок 3.3 - Етапи процесу профілювання гвинтоподібної труби на оправці 3 при втисканні ролика 1 в трубу-заготовку 2 (а); при формуванні роликом 1 гвинтової канавки на трубi (б)

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДП.133.019.001.20.ПЗ

Арк.

20

Для аналізу чисельної моделі процесу втискування ролика в нерухому трубу на оправці використовувалась труба з зовнішнім діаметром 38 мм та товщиною стінки 1 мм із нержавіючої сталі AISI 304 з модулем пружності 210,3 ГПа, коефіцієнтом Пуассона 0,3 та відомою кривою течії (рис. 3.4). Прийняте значення коефіцієнт тертя склало 0,1.

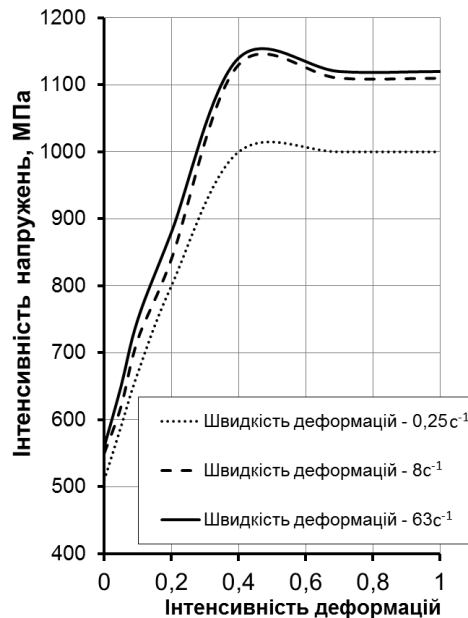


Рисунок 3.4 - Крива течії сталі AISI 304 при різних швидкостях деформації

На рис. 4.5 представлені креслення роликів. Розподіли інтенсивностей напружень та деформацій в меридіональних перетинах канавок в процесі втискування роликів показані на рис. 4.6-4.8.

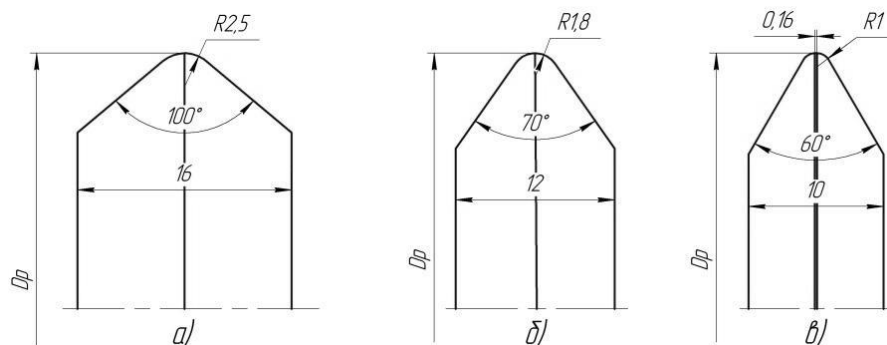


Рисунок 3.5 - Тупокутний ролик з великим радіусом профілю для формування гвинтоподібної канавки глибиною  $h=2$  мм (а), ролик для збільшення глибини канавки до 3,5 мм (б), фінішний ролик для збільшення глибини канавки до 4,3 мм (в)

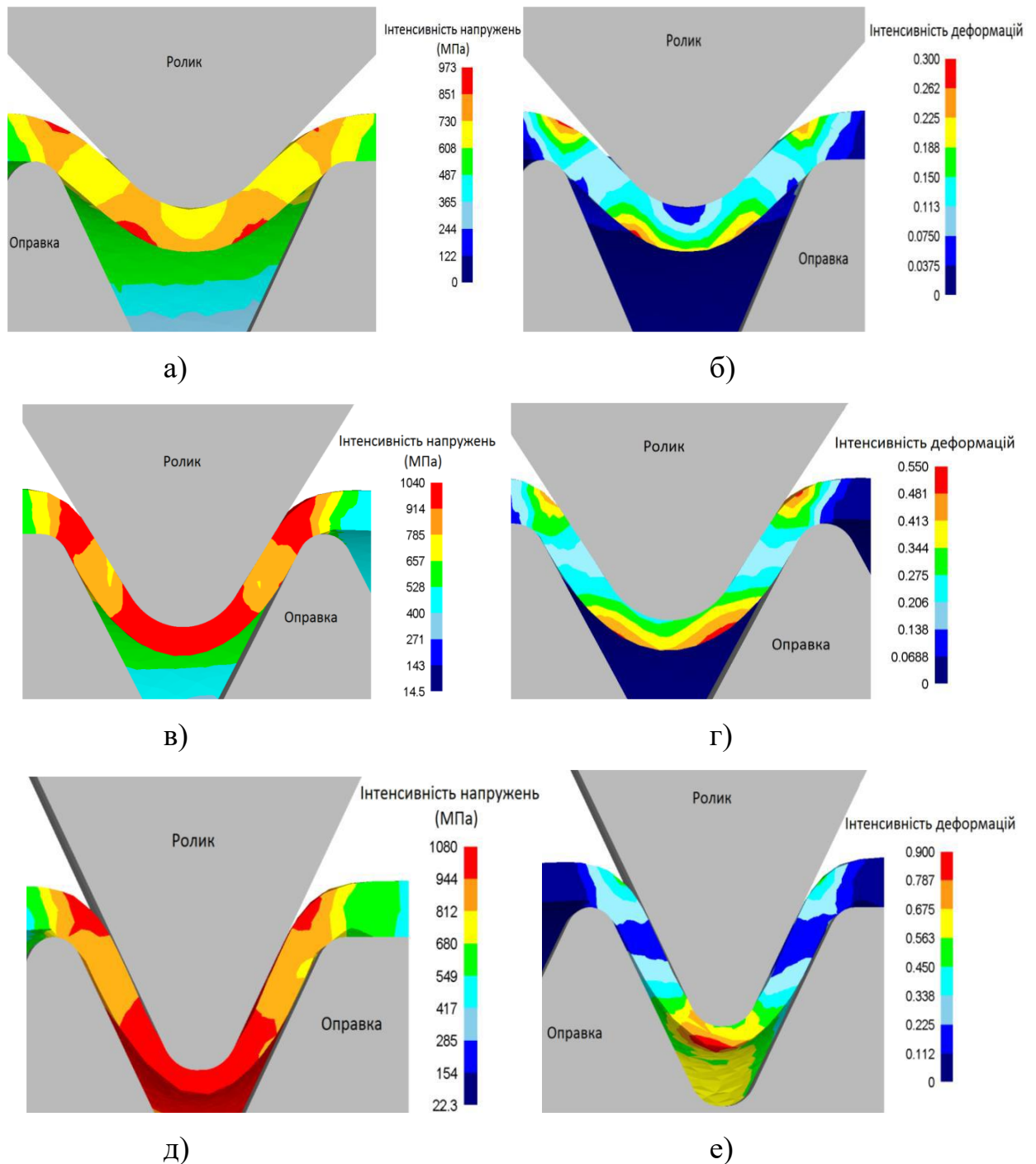


Рисунок 3.6 - Розподіли інтенсивності напружень і деформацій в перерізі канавки труби при втискуванні в неї ролика на 2 мм (а, б), на 3,5 мм (в, г), на 4,3 мм (д, е)

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДП.133.019.001.22.ПЗ

Арк.

22

### 3.2. Модель процесу роликового обкочування

Інтенсивна течія металу відбувається в зоні біля скруглених виступів оправки і в зоні біля скруглених країв ролика (рис. 3.6). Це обумовило вибір положення точок (рис. 3.7) в цих зонах для аналізу характеру зміни інтенсивності напружень (рис. 3.8) та інтенсивності деформацій (рис. 3.9).

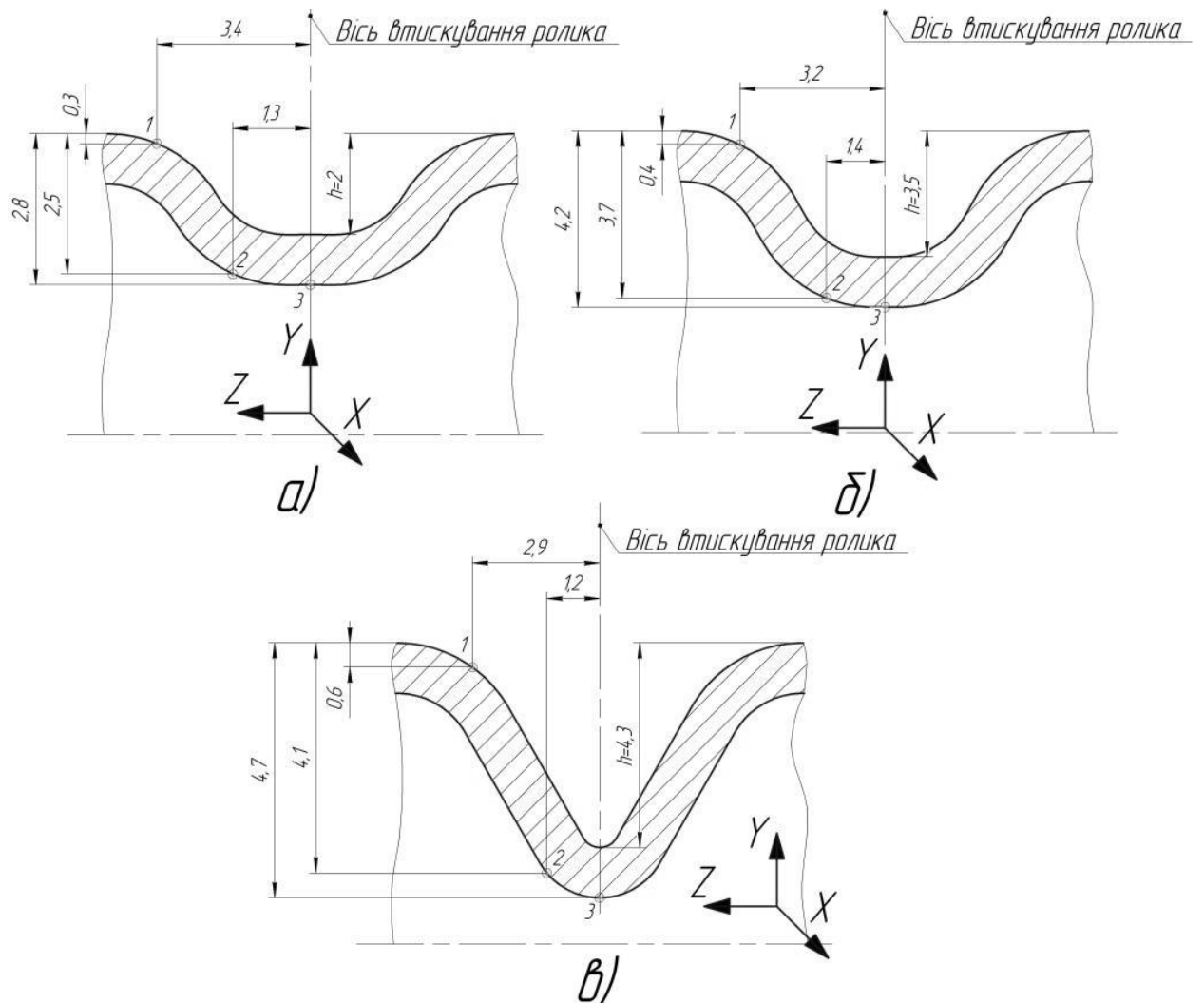


Рисунок 3.7 - Положення точок в поздовжньому перетині канавок глибиною  $h=2$  мм (а),  $h=3,5$  мм (б),  $h=4,3$  мм (в)

У вибраних точках (рис. 3.7) визначено головні нормальні напруження та головні деформації і виконано аналіз напружено-деформованого стану. Отримані графіки залежності інтенсивності напружень і деформацій від

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДП.133.019.001.23.ПЗ

Арк.

23

переміщення ролика у вказаних характерних точках показані на рис. 3.8, а головних напружень і деформацій від переміщення ролика показані на рис. 3.9-3.10.

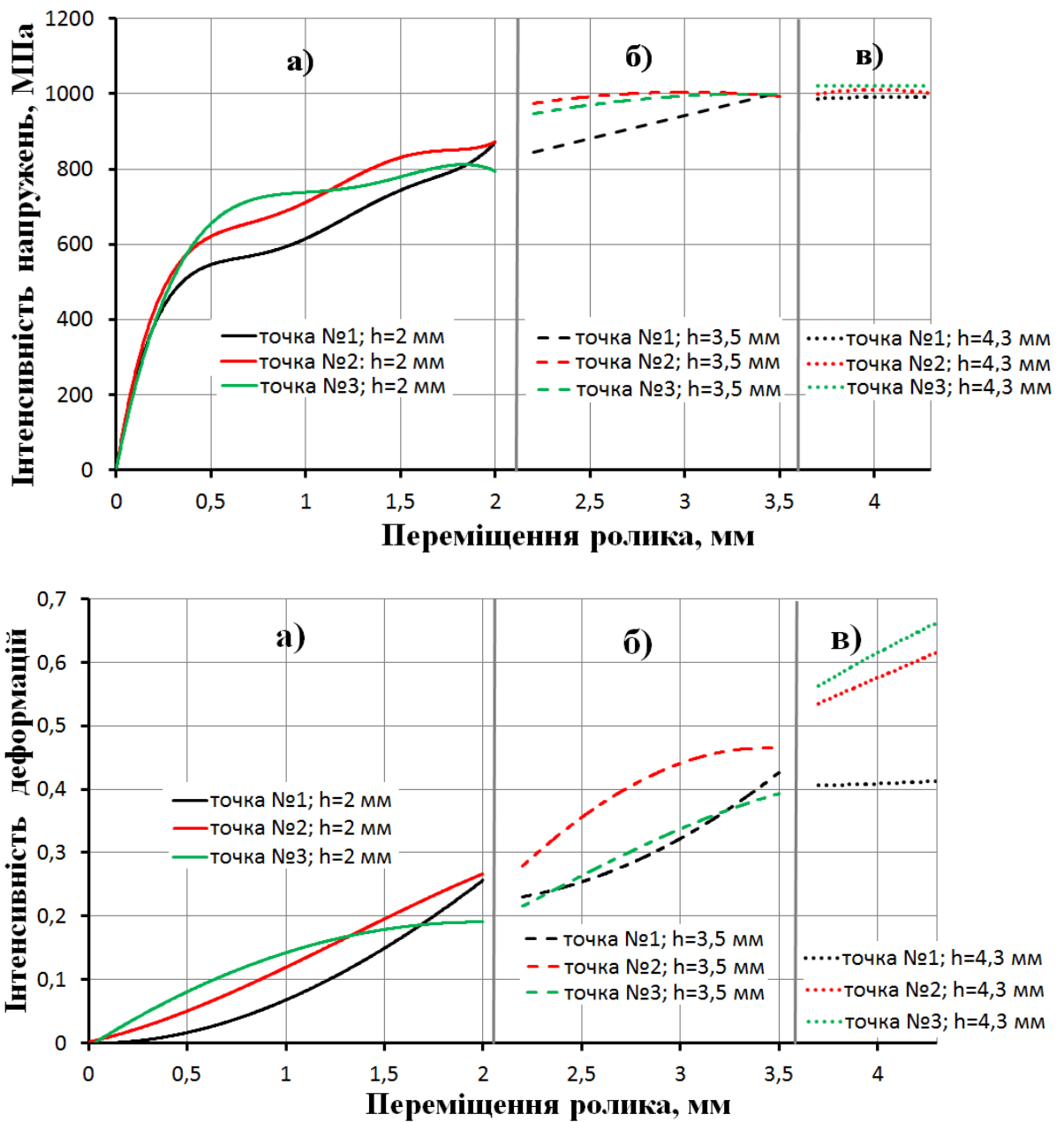


Рисунок 3.8 - Розподіл інтенсивності напружень і деформацій при втискуванні ролика в трубу на глибину  $h=2$  мм (рис. 3.5, а) (а); при втискуванні ролика на 1,5 мм в канавку глибиною  $h=3,5$  мм (рис. 3.5, б) (б); при втискуванні ролика на 0,7 мм в канавку глибиною  $h=4,3$  мм (рис. 3.5, в) (в)

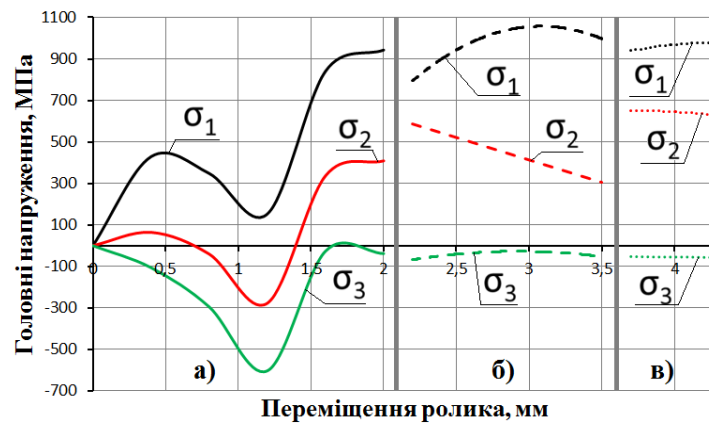
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДП.133.019.001.24.ПЗ

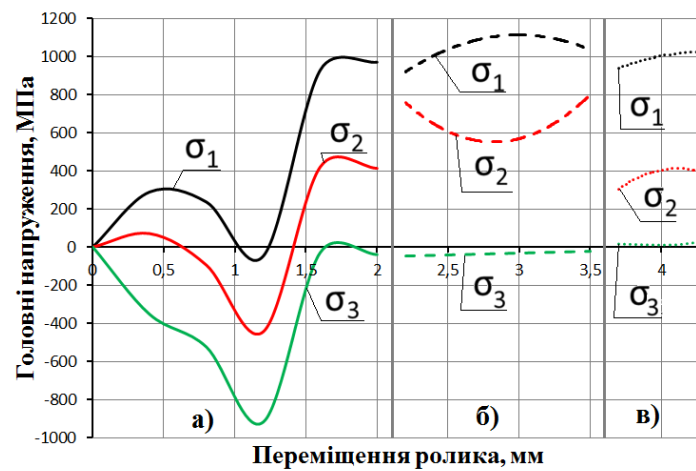
Арк.

24

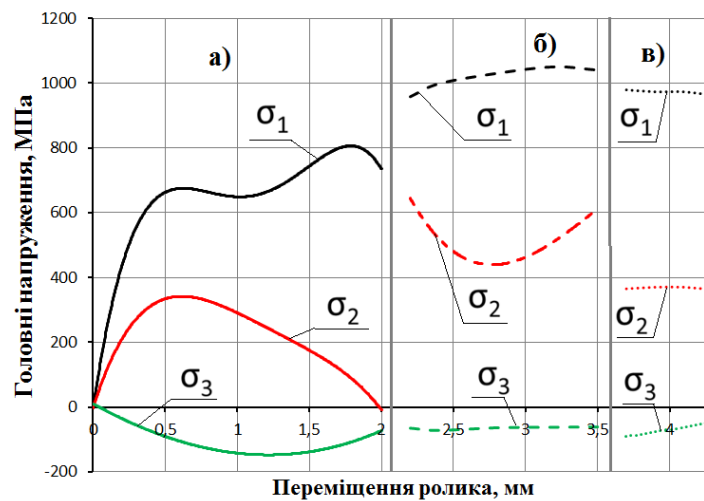




точка 1



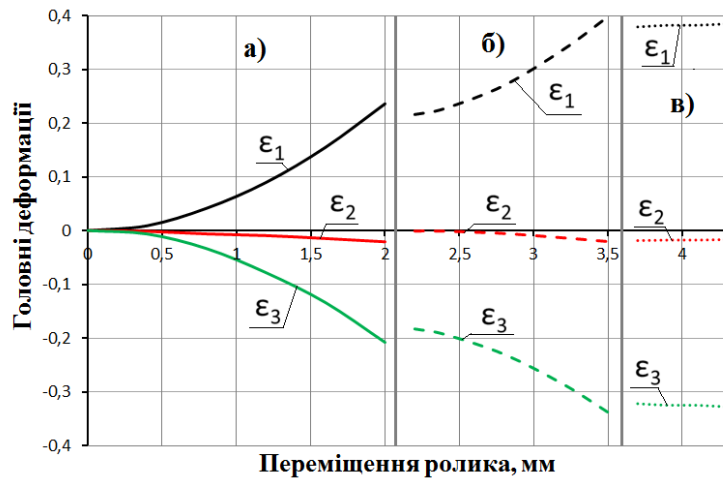
точка 2



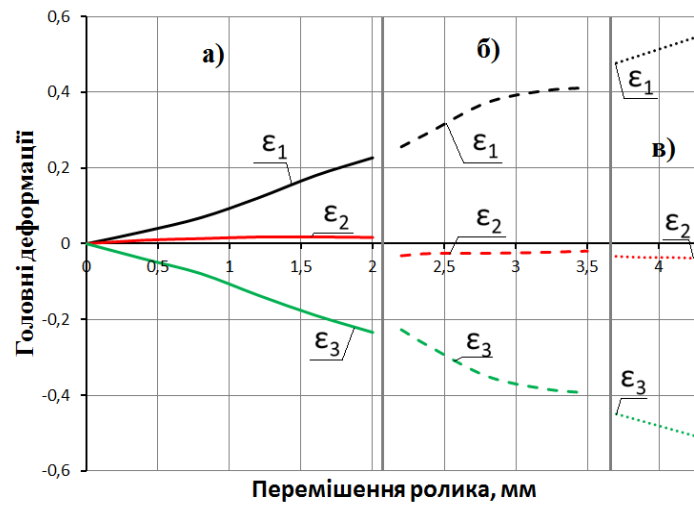
точка 3

Рисунок 3.9 - Розподіл головних напружень в точці 1, 2, 3 (рис. 3.7) при втискуванні ролика (рис. 3.5, а) на  $h=2$  мм (а); при втискуванні ролика (рис. 3.5, б) на 1,5 мм в канавку глибиною  $h=2$  мм (б); при втискуванні ролика (рис. 3.5, в) на 0,7 мм в канавку глибиною  $h=3,5$  мм (в)

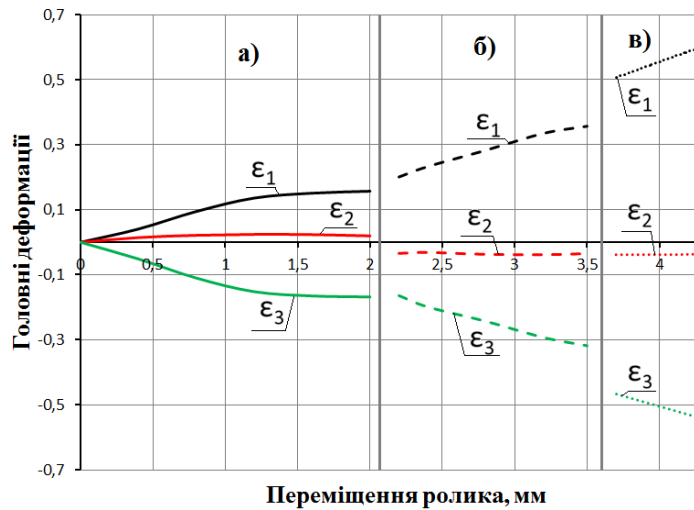
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
-----	------	----------	--------	------



точка 1



точка 2



точка 3

Рисунок 3.10 - Розподіл головних деформацій в точці 1, 2, 3 (рис. 3.7) при втискуванні ролика (рис. 3.5, а) на  $h=2$  мм (а); при втискуванні ролика (рис. 3.5, б) на 1,5 мм в канавку глибиною  $h=2$  мм (б); при втискуванні ролика (рис. 4.5, в) на 0,7 мм в канавку глибиною  $h=3,5$  мм (в)

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
-----	------	----------	--------	------

ДП.133.019.001.26.ПЗ

Арк.

26

## ВИСНОВКИ

1. На основі аналізу сучасного стану і перспектив розвитку процесів виготовлення гвинтоподібних труб гідроформуванням визначені їх недоліки та сформульовані основні задачі. Розв'язок цих задач забезпечить високі параметри якості та покращення фізико-механічних властивостей виробів.

2. Запропоновано нову конструкцію штампу для гідроформування гвинтоподібних труб. Завдяки запропонованій конструкції вдалося створити ефективну технологію виготовлення гвинтоподібних труб для теплообмінних поверхонь нагрівання. Гвинтовий профіль канавок на трубі сприяє інтенсифікації тепловіддачі, скороченню габаритних розмірів, маси теплообмінного апарату, а також знижує вартість.

3. Виконано чисельне моделювання процесу гідроформування гвинтоподібних труб з використанням методу скінчених елементів. Визначено напружено-деформований стан в меридіональному перетині труби.

4. Запропонована конструкція штампу для гідроформування гвинтоподібних труб дозволить збільшити термін їх експлуатації та отримати вагомий економічний ефект.

## Список використаних джерел

*ДП.133.019.001.27.ПЗ*

Арк.

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

1. Alieva, L. I., Markov, O. E., Aliiev, I. S., Levchenko, V. N., Malii, K. V. Analysis of Power Parameters of Combined Three-Direction Deformation of Parts with Flange. *FME Transactions*, 2021, 49(2), pp. 344–355.
2. Makovej V., Protsenko P., Melnik V. Production of helical heat exchanger tubes by roller spinning / Makovej V., Protsenko P., Melnik V. // *Metallurgical and Mining Industry*. – 2016. – No 3. – PP. 104-110.
3. Aliev I. S., Sivak R. I., Markov O. E., Levchenko V. N. The evaluation of workpiece deformability for the process of two-stage extrusion of hollow hull / *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 2023. 129(3-4). PP. 1345–1353. DOI:[10.1007/s00170-023-12353-6](https://doi.org/10.1007/s00170-023-12353-6).
4. Beygelzimer, Y., Filippov, A., Estrin, Y. ‘Turbulent’ shear flow of solids under high-pressure torsion. *Philosophical Magazine*, 2023, 103(11), pp. 1017–1028. DOI:[10.1080/14786435.2023.2180681](https://doi.org/10.1080/14786435.2023.2180681).
5. Маковей В. О. Розрахунково-аналітичний аналіз напружено-деформованого стану труб при обкочуванні / В. О. Маковей, П. Ю. Проценко // *Вісник НТУ «ХПІ»*. – 2012. – №46. – С. 76-82.
6. Mykhalevych, V., Dobraniuk, Y., Matviichuk, V., Smailova, S., Kozbakova, A. A comparative study of various models of equivalent plastic strain to fracture. *Informatyka, Automatyka, Pomiarы w Gospodarce i Ochronie Srodowiska*, 2023, 13(1), pp. 64–70. <https://doi.org/10.35784/iapgos.3496>.
7. Kukhar, V., Hrushko, O., Markov, O., Anishchenko, O., Prysiazhnyi, A. Bypass Bends Deformability of CuZn5 Brass, X10CrNiTi18-9 and C22 Steel at Forming by Euler-Mode Buckling. *Lecture Notes in Networks and Systems*. 2023, 510, pp. 1533–1542. DOI:[10.1007/978-3-031-11051-1\\_158](https://doi.org/10.1007/978-3-031-11051-1_158).
8. Маковей В.О. Профілювання гвинтоподібних труб обкочуванням / В.О. Маковей, Ю.П. Бородій, А.В. Кліско, П.Ю. Проценко // *Вісник Київського політехн. ін-та. Машинобудування*. – 2010. – №60. – С. 55-60.

9. Маковей В.О. Моделювання процесу профілювання канавок на трубах роликів обкочуванням / В.О. Маковей, П.Ю. Проценко // Вісник Київського політехн. ін-та. Машинобудування. – 2011. – №62. – С. 203-206.

10. Shtern, M. V., Mikhailov, O. V., & Mikhailov, A. O. (2021). Generalized continuum model of plasticity of powder and porous materials. *Powder Metallurgy and Metal Ceramics*, 60(1-2), 20-34.

11. Маковей В.А. Напряженно-деформированное состояние винтоподобных труб при профилировании / В.А. Маковей, Ю.П. Бородий, П.Ю. Проценко // Вестник НТУ «ХПИ». – 2010. – №42 – С. 64-70.

12. Маковей В.А. Исследование локального деформирования трубы при профилировании винтовых канавок / В.А. Маковей, П.Ю. Проценко // Вестник Национального технического университета —ХПИ. – 2011. – №46. – С. 107-115.

13. Маковей В.О. Особливості профілювання одно та трьохзахідних гвинтоподібних труб / В.О. Маковей, П.Ю. Проценко // Вестник Национального технического университета —ХПИ. – 2013. – № 43 (1016). – С. 153-162.

14. Seong-Yong Yoon, Frédéric Barlat, Shin-Yeong Lee, Jin-Hwan Kim, Min-Su Wi, Dong-Jin Kim. Finite element implementation of hydrostatic pressure-sensitive plasticity and its application to distortional hardening model and sheet metal forming simulations. *Journal of Materials Processing Technology*, Volume 302, 2022, 117494. <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2022.117494>.

15. Longfei Lin, Wenfei Peng, Viacheslav Titov, Moliar Oleksandr, Xiaocheng Wu, He Li. Interface phenomena and bonding mechanism in the new method of cross wedge rolling bimetallic shaft. *Journal of Materials Research and Technology*, Volume 24, 2023, Pages 1132-1149. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2023.03.049>.

## Додатки

					ДП.133.019.001.30.ПЗ	Арк.
						30
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Формат	Зона	Поз.	Познака	Найменування	Кіл.	Примітка
				<b>Документація</b>		
A3			ДП.133.020.001.00.СБ	Складальний кресленик		
				<b>Деталі</b>		
A4	2		ДП.133.020.001.03.	Корпус	1	
A4	20		ДП.133.020.001.20.	Поршень	1	
A4	10		ДП.133.020.001.10.	Втулка центрувальна	1	
A4	14		ДП.133.020.001.14.	Пуансон	1	

<b>ДП.133.020.001.00.ПЗ</b>							
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розробив		Арзанцев В. О.			<b>Штамп</b>		
Перевірів		Сивак Р. І.					
Н. контр.		Сивак Р. І.					
Затв.		Шелудченко Б. А.					
					Літера	Аркуш	Аркушів
Поліський національний університет, гр. ГМ-20							