

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

Факультет інженерії та енергетики

ДО ЗАХИСТУ ДОПУЩЕНИЙ
Завідувач кафедри механіки та
інженерії агроєкосистем,
к. т. н., професор
_____ Б. А. Шелудченко
« ____ » _____ 2024 р.

РОЗРАХУНКОВО-ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до дипломного проекту

на тему: «Розроблення трироlikової обкатної головки для виготовлення
тризахідних гвинтоподібних труб»

ДП.133.020.001.00.ПЗ

Виконав студент групи ГМ-20:
_____ А. В. Андрійчук

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,

к. т. н., професор

_____ Б. А. Шелудченко

«_____» _____ 2024 р.

ЗАВДАННЯ
на дипломний проєкт

студенту Андрійчуку Артему Васильовичу

на тему Розроблення трироlikової обкатної головки для виготовлення
тризахідних гвинтоподібних труб

Термін подання дипломного проєкту

на кафедру для попереднього захисту 2.05.2024 р.

Вихідні дані для проєкту: зовнішній діаметр труби – $D_{тр}=38\text{мм}$;
товщина стінки труби – $s=1\text{мм}$; глибина канавки – $h=4,3\text{мм}$; частота
обертання – 160хв^{-1} ; марка сталі – AISI304; модуль пружності –
 $E=210,3\text{ГПа}$; коефіцієнт Пуасона – $\nu=0,3$; коефіцієнт тертя – $\mu=0,1$;
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

Андрійчук А. В. *Розроблення трироликової обкатної головки для виготовлення тризахідних 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 трироликової обкатної головки для виготовлення тризахідних гвинтоподібних труб.

Для розв'язку поставленої задачі спочатку виконується аналіз сучасного стану досліджень по формуванню гвинтових канавок на тонкостінних трубах. Здійснюється огляд відомих способів та пристроїв для отримання труб з гвинтовим профілем. Виконується огляд існуючих на даний час досліджень процесів обкочування тонкостінних труб з утворенням гвинтових канавок.

Запропонована конструкція оснащення для виготовлення гвинтоподібних труб роликівим обкочуванням. Здійснено аналіз технології виготовлення тризахідних гвинтоподібних труб. Розроблена конструкція обкатної трироликової головки для формування тризахідних гвинтоподібних труб. Використання такого пристосування та дотримання рекомендованої технології формозмінення труб дозволяють підвищити їх експлуатаційні властивості, а впровадження у виробництво дозволить отримати значний економічний ефект.

З використанням спеціалізованої програмної системи на основі методу скінчених елементів здійснено чисельне моделювання процесу роликового обкочування гвинтоподібних труб.

Зміст

Вступ.....	4
Розділ 1. Аналіз сучасного стану досліджень по формуванню гвинтових канавок на тонкостінних трубах.....	5
1.1. Огляд відомих способів та пристроїв для отримання труб з гвинтовим профілем.....	5
1.2. Дослідження процесів обкочування труб.....	8
Розділ 2. Конструювання устаткування для виготовлення гвинтоподібних труб роликівим обкочуванням.....	11
2.1. Технологія виготовлення тризахідних гвинтоподібних труб.....	11
2.2. Розробка конструкції головки для формування тризахідних гвинтоподібних труб	13
Розділ 3. Моделювання процесу роликівого обкочування тонкостінних труб	17
3.1. Чисельне моделювання процесу роликівого обкочування гвинтоподібних труб	17
3.2. Аналіз чисельного моделювання.....	20
Висновки.....	23
Список використаних джерел	24
Додатки.....	26

					ДП.133.020.001.00.ПЗ					
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Розроблення трироликівогої обкатної головки для виготовлення тризахідних гвинтоподібних труб			Літера	Аркуш	Аркушів
Розробив	Андрійчук А.В.									
Перевірів	Сивак Р. І.									
Н. контр.	Сивак Р. І.							<i>Поліський національний університет, гр. ГМ-20</i>		
Зате.	Шелудченко Б. А									

ВСТУП

Вплив основних технологічних і конструктивних параметрів на процес формування гвинтоподібних труб роликним обкочуванням є основою для розробки процесу виготовлення гвинтоподібних труб обкочуванням роликми. Такі труби можуть використовуватись в якості теплообмінних поверхонь.

Існуючі способи отримання канавок на трубах дозволяють робити висновки про переваги і недоліки цих процесів і розробляти нові можливі способи отримання гвинтоподібних труб, а також конструювати обладнання для їх реалізації. Експериментальні та чисельні дослідження процесів виготовлення гвинтоподібних труб обкочуванням роликми є основою для створення нових схем процесу пластичного формування роликним обкочуванням гвинтоподібних труб, а також встановлюють вплив геометричних параметрів на закономірності формування напружено-деформований стан. Для оцінки величини силових параметрів в процесі формування гвинтоподібних труб роликним обкочуванням необхідно отримати аналітичні залежності, за допомогою яких можна визначитись з послідовністю дій для ефективного реалізації деформування. Виготовлення тризахідних гвинтоподібних труб за запропонованими схемами процесів роликного обкочування дозволяють отримати високоякісні вироби. На основі підтверджених результатів моделювання розробляються рекомендації з проектування технологічних процесів і конструкцій устаткування для запропонованих схем процесів формування трьохзахідних гвинтоподібних труб роликним обкочуванням.

Комплексний розгляд взаємозв'язку параметрів процесу пластичного формування гвинтоподібних труб роликним обкочуванням дозволить створити оптимальну конструкцію устаткування для пластичного формозмінення тонкостінних труб.

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

Розділ 1

Аналіз сучасного стану досліджень по формуванню гвинтових канавок на тонкостінних трубах

1.1. Огляд відомих способів та пристроїв для отримання труб з гвинтовим профілем

Один із способів виготовлення гвинтоподібних деталей полягає в формоутворенні на трубчастій заготовці гвинтоподібного профілю за допомогою оправки. Формоутворення гвинтоподібного профілю здійснюється шляхом послідовної пластичної деформації. Спільне постійне обертання трубчастої заготовки та розташованої всередині неї гвинтової оправки сприяє взаємопов'язаному поступальному переміщенні формоутворюючих елементів. Інструменти в цьому випадку є тілами кочення і рухаються уздовж осі оброблюваної деталі [1, 2].

Спосіб реалізується пристроєм, який є обкатною головкою. Корпус цієї обкатної головки містить в собі робочі радіально пересувні елементи (рис. 1.1). Переріз А-А обкатної головки з пересувними елементами показаний на рис. 1.2, а початок формування гвинтоподібної деталі на рис. 1.3.

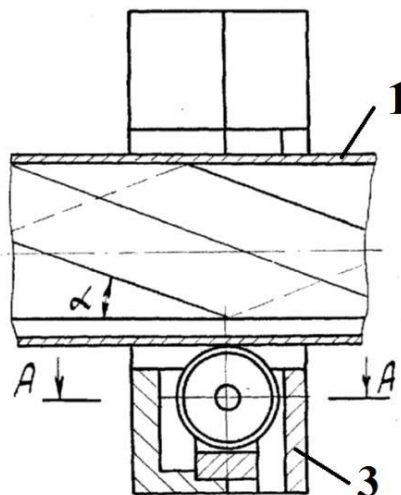


Рисунок 1.1 - Схема обкатної головки

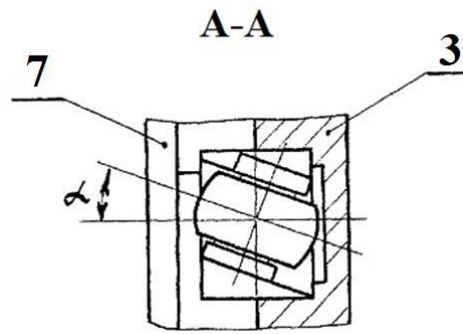


Рисунок 1.2 - Переріз А -А обкатної головки

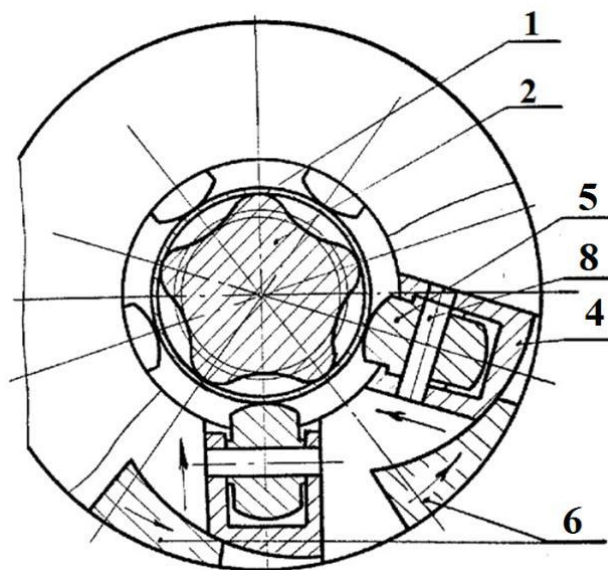


Рисунок 1.3 - Схема початку формування гвинтоподібної деталі обкатною ГОЛОВКОЮ

На рис. 1.4 зображена схема виготовлення гвинтоподібних труб [3, 4] прикладанням крутильного моменту до ділянок труби, що рухаються відносно роликів, наближаючись та віддаляючись від них. Такий підхід дозволяє знизити прикладене до труби осьове зусилля. А це сприяє збільшенню відношення довжини труби до її діаметру і зменшити відношення товщина стінки труби до її діаметру [5, 6].

Кут розвороту роликів

$$\beta_p = \frac{1}{2} \left(\alpha + \arctg \left(\operatorname{tg} \alpha \cdot \cos \left(\frac{Z \cdot \operatorname{tg} \alpha}{r_o} \right) \right) \right) \quad (1.1)$$

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДП.133.019.001.08.ПЗ

Арк.

8

де α – кут нахилу гвинтових канавок до поздовжньої осі труби;

z – довжина ділянки формування гвинтових канавок на оправці до моменту перетиску осередку деформації (рис. 1.5);

r_0 – радіус оправки по вершинам ребер.

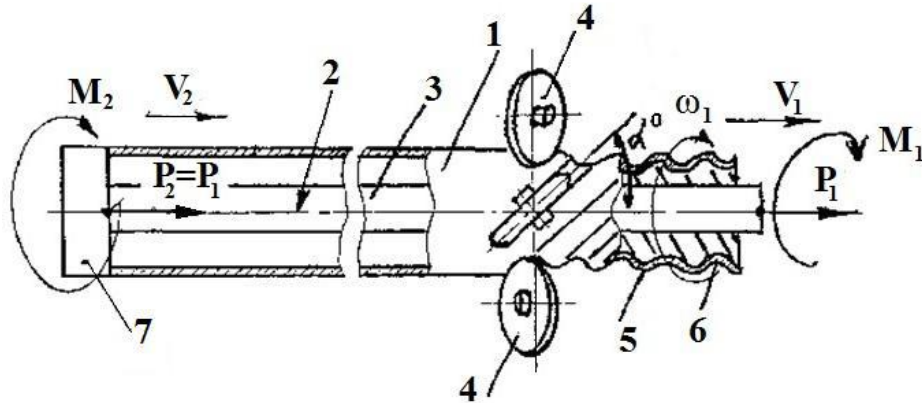


Рисунок 1.4 - Схема виготовлення гвинтоподібних труб спрямованим крутильним моментом: 1 – труба, 2 – вісь, 3 – оправка, 4 – ролики, 5 – гофри, 6 – впадини, 7 – бурт

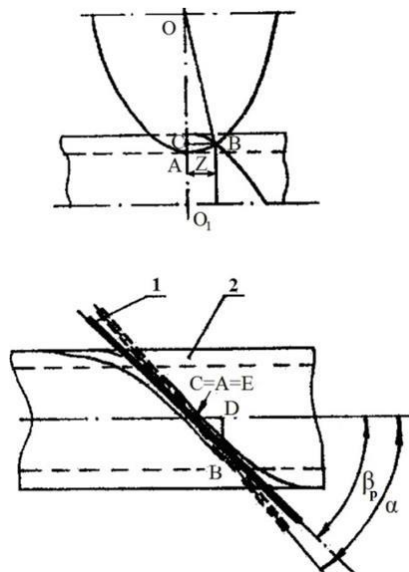


Рисунок 1.5 - Схема способу отримання гвинтоподібних труб: 1 – ролик, 2 – труба

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДП.133.019.001.09.ПЗ

Арк.

9

1.2. Дослідження процесів обкочування труб

На рис. 1.6 показані епюри напружень в площині перетину тіла великої довжини.

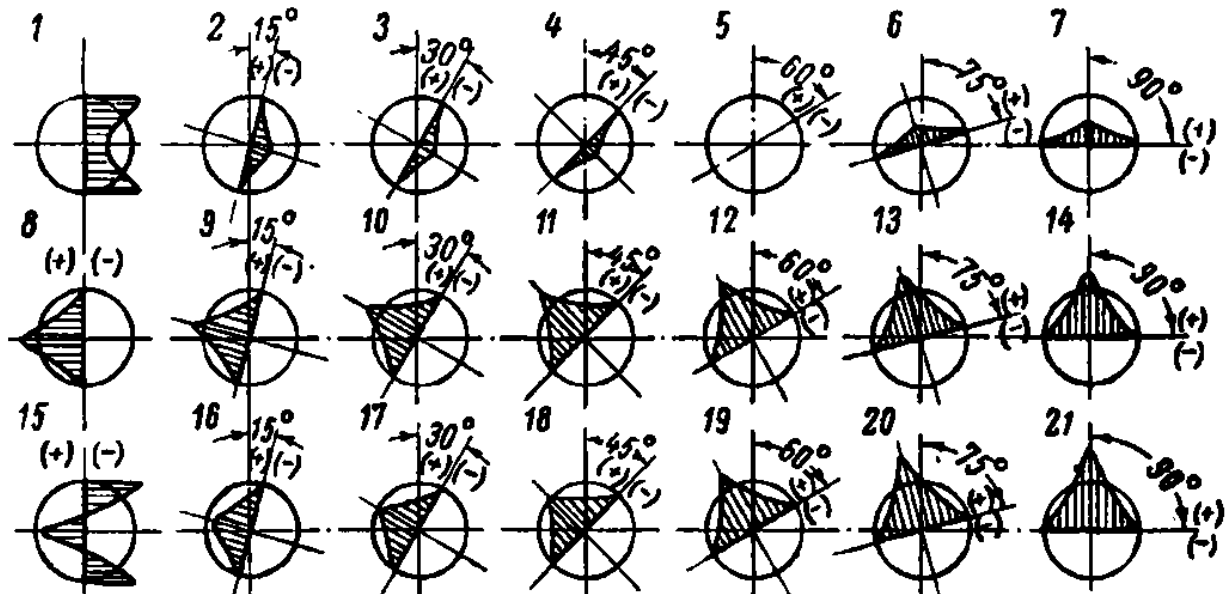


Рисунок 1.6 - Епюри напружень в поперечному перетині тіла великої довжини

При обкочуванні верхній шар матеріалу депланується на нижньому і його довжина збільшується. Початок пластичного деформування створює достатні для видавлювання верхнього шару напруження стиску в тангенціальному напрямку. Механізм деформації полягає у обтисканні зовнішнім навантаженням периферійної частини заготовки. Суцільність тіла необтисненими частинами елементарного кільця та внутрішньою зоною заважає подовженню. В результаті осьова частина тіла зазнає напружень розтягу та тангенціальних напружень, а периферійна – напружень стиску [7, 8]. Малий осьовий отвір в тілі і відповідно значна товщина стінки сприяють великому ступеню нерівномірності деформації по перерізу. Радіальні напруження розтягу на внутрішній поверхні порожнистого тіла згідно умов

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

ДП.133.019.001.10.ПЗ

Арк.

10

статики дорівнюють нулю, але вже біля цієї поверхні вони можуть значно зростати. В результаті картина розподілу напружень по товщині заготовки буде мати вигляд показаний на рис. 1.7.

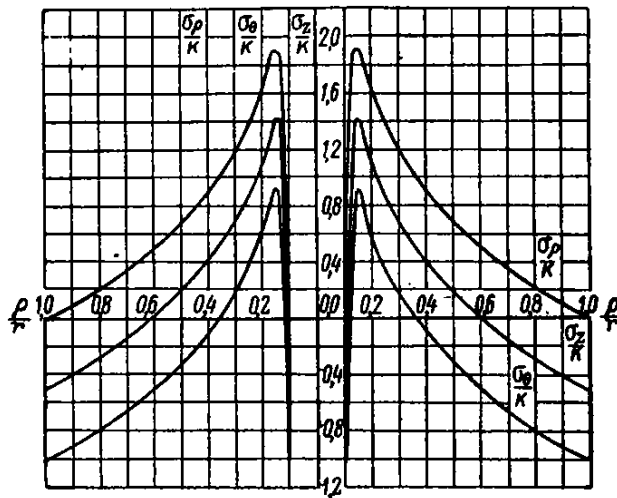


Рисунок 1.7 - Епюри розподілу нормальних напружень при поперечній прокатці товстостінних порожнистих тіл

На рис. 1.8 показаний елемент деформованої обкочуванням труби з позначеними радіусами кривизни серединної поверхні в меридіональному і тангенціальному перетинах, а також радіус відстані розглянутого елемента від осі симетрії. Рівняння рівноваги при проектуванні всіх сил на нормаль до площадки (рис. 1.9):

$$p l d j d l - \sigma_{\theta} d l \sin \frac{d\beta}{2} - \left(\sigma_{\theta} + \frac{\partial \sigma_{\theta}}{\partial \theta} d\theta \right) d l \sin \frac{\beta}{2} = 0. \quad (1.2)$$

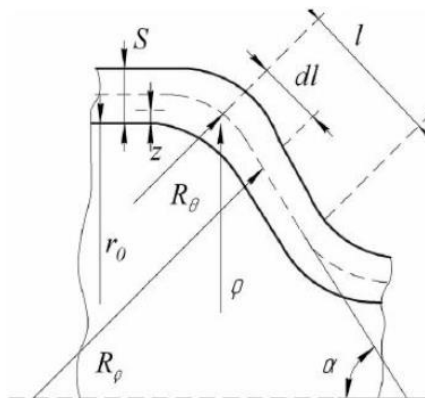


Рисунок 1.8 - Елемент деформованої обкочуванням труби

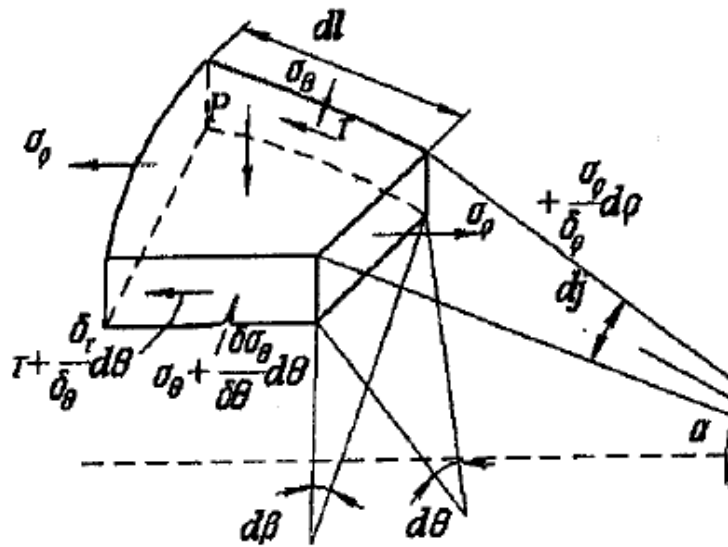


Рисунок 1.9 - Напружений стан елементу деформованої обкочуванням труби

Розрахункова схема половини заготовки зображена на рис. 1.10
Рівняння [9]

$$\begin{cases} \frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau}{\partial y} + \frac{1}{s} q_x = 0 \\ \frac{\partial \tau}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_y}{\partial y} - \frac{1}{Rs} \frac{\partial M_y}{\partial y} + \frac{1}{s} q_y = 0, \\ \frac{\partial^2 M_y}{\partial y^2} + \frac{s}{R} \sigma_y + q_z = 0 \end{cases} \quad (1.3)$$

вирішується розділенням змінних без врахування в першому наближенні радіусів заокруглення інструмента, зміцнення матеріалу та анізотропії.

Два меридіональні розподіли напружень в сумі дають можливість деформацію оболонки представити як деформацію просторової конструкції. Меридіональні напруження в тангенційному напрямі є знакоперемінними. Оскільки виділяються ділянки напружень стиску та розтягу. Це провокує деформацію оболонки пов'язаної з викривленням форми поперечних перетинів [10].

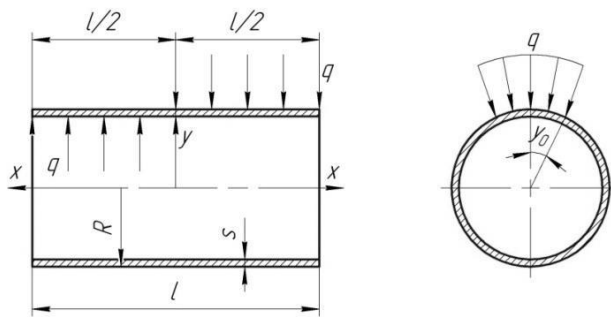


Рисунок 1.10 - Розрахункова схема для визначення напружень при профілюванні тонкостінної труби

					ДП.133.019.001.13.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

Розділ 2

Конструювання устаткування для виготовлення гвинтоподібних труб роликним обкочуванням

2.1. Технологія виготовлення тризахідних гвинтоподібних труб

Схема процесу отримання накочування різблення представлена на рис. 2.1. На оправку 1 встановлюється заготовка трубчаста 2 товщиною 0,5...1 мм. Ролик 3 і пружина 5 кріпляться до корпусу 4. Корпус закріплений в різцетримачі 6 станка токарного. Пружина 5 зменшує навантаження на супорт та регулює зусилля тиску ролика 3 на заготовку трубчасту 2. Оправку 1 з надією на неї заготовкою трубчастою 2 фіксуємо з одного боку центром станка токарного 7, а інший бік фіксуємо в трьохкулачковому патроні 8 для неможливості повороту заготовки відносно оправки [11, 12].

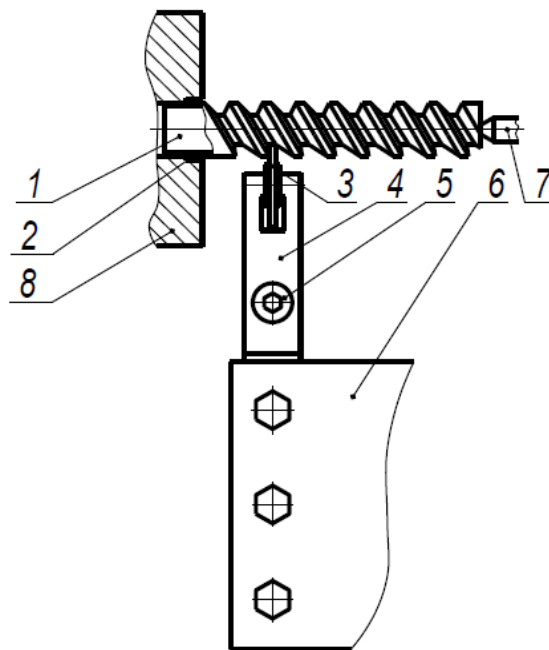


Рисунок 2.1 - Схема процесу накочування різблення

Експериментальні дослідження і результати чисельного моделювання в спеціальній програмній системі свідчать, що процес обточування гвинтоподібної труби з відносною висотою рифта більше 0,25 та відношенням висоти канавки до діаметру труби більше 0,05 краще виконувати за декілька проходів роликів [13-15].

1) На початковій стадії формування канавок з відносною висотою рифта менше 0,25 і відношенням висоти канавки до діаметру труби менше 0,05, бажано використовувати ролик з тупим більшим 90° кутом профілю (рис. 2.2) і відносним радіусом заокруглення ролика більшим 0,25.

2) Фінішні операції, при формуванні остаточного профілю канавок з відносною висотою рифта більше 0,4 і менше 0,25, а також співвідношенням відношенням висоти канавки до діаметру труби більшим 0,05, виконуються роликом з гострим кутом профілю і відносним радіусом округлення ролика не меншим 0,05, в залежності від кута профілю канавки оправки (рис. 2.3).

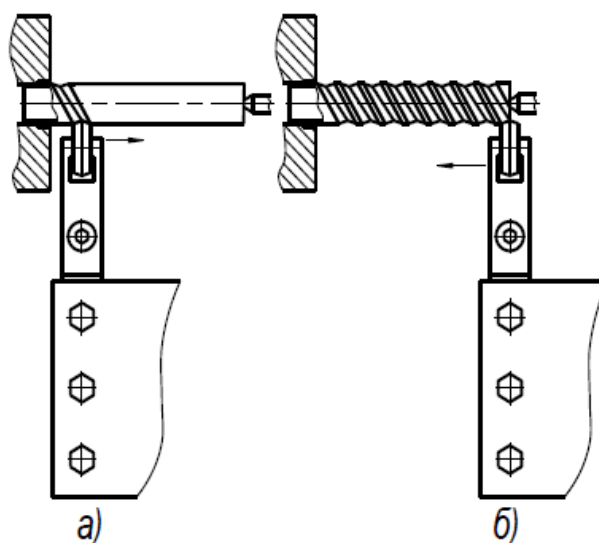


Рисунок 2.2 - Утворення різьблення проходом ролика з тупим кутом: а) початок проходу; б) повернення супорта в початкове положення

Виготовлення гвинтоподібних труб здійснюється за допомогою обкатної головки (рис. 2.4) прикріпленої у різцетримачі супорту токарно-гвинторізного верстату.

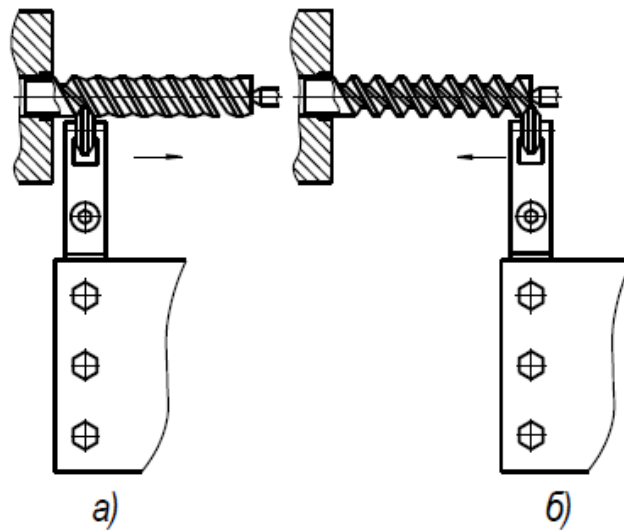


Рисунок 2.3 - Прохід роликм з гострим кутом: а) початок проходу; б) повернення супорта в початкове положення

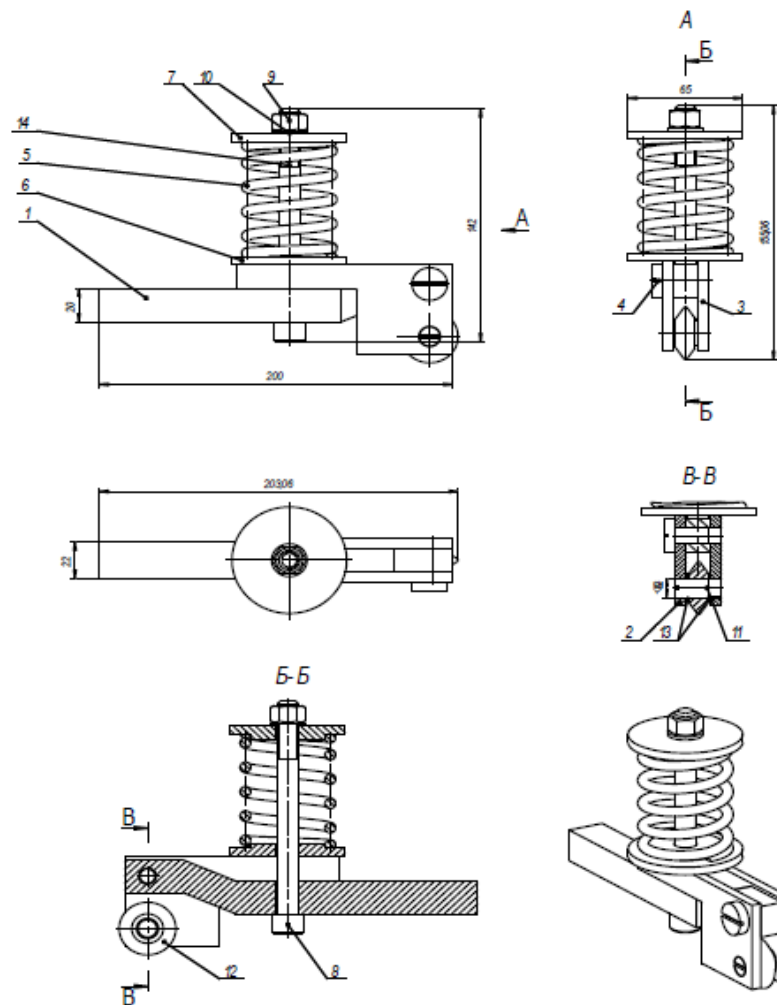


Рисунок 2.4 - Обкатна головка з пружиною

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДП.133.019.001.16.ПЗ

Арк.

16

До складу обкатної головки входить корпусу 1 з прикріпленими планками 2 та 3 гвинтом 4. Пружина 5 тисне на підкладку нижню 6. Підкладка передає тиск пружини 5 на планки 2 і 3 та верхню підкладку 7. Верхня підкладка разом з планками кріпиться до корпусу 1 гвинтом 8, гайкою 9 та шайбою 10. В планки 2 та 3 встановлена вісь 11. На вісь надітий ролик 12. Ролику центрується кільцями 13 розміщеними з двох боків ролика 11.

2.2. Розробка конструкції головки для формування тризахідних гвинтоподібних труб

Трироликівка обкочувальна головки із одітою на тризахідну оправку заготовкою, показано на рис. 2.5 у вигляді 3D моделі

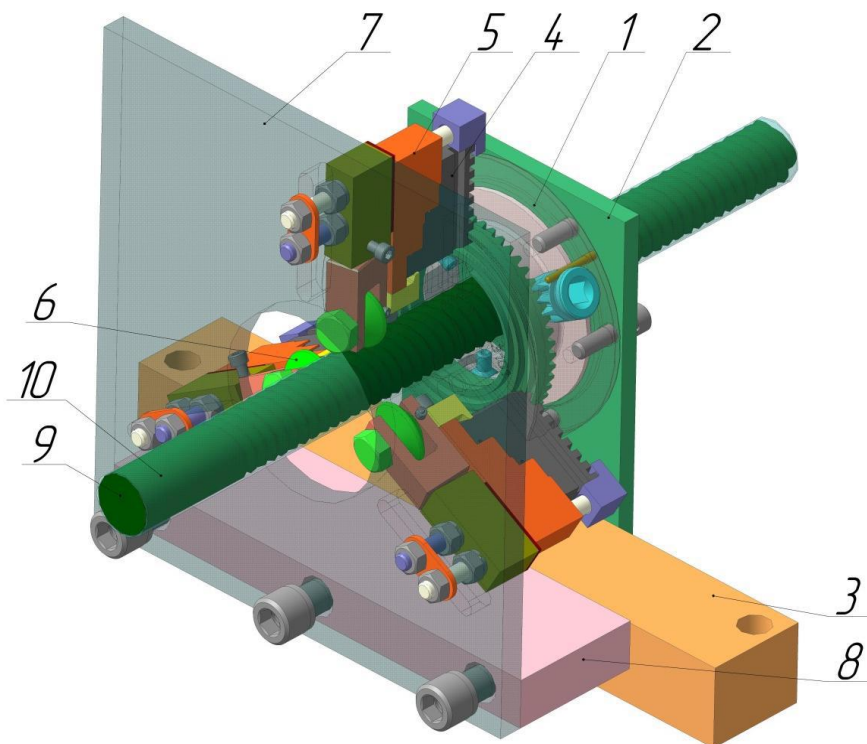


Рисунок 2.5 - Обкатна головка (3D-модель): 1 –патрон трикулачковий, 2 – плита опорна, 3 – опора, 4 – кулачок, 5 – головка обкатна, 6 – ролик, 7 – плита зміцнювальна, 8 – плита утримуюча, 9 – оправка, 10 – труба-заготовка

										Арк.
										17
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ДП.133.019.001.17.ПЗ					

Вид зверху, розріз А-А, розріз Б-Б, вид В, вид Г даного устаткування показано відповідно на рис. 2.6-2.10.

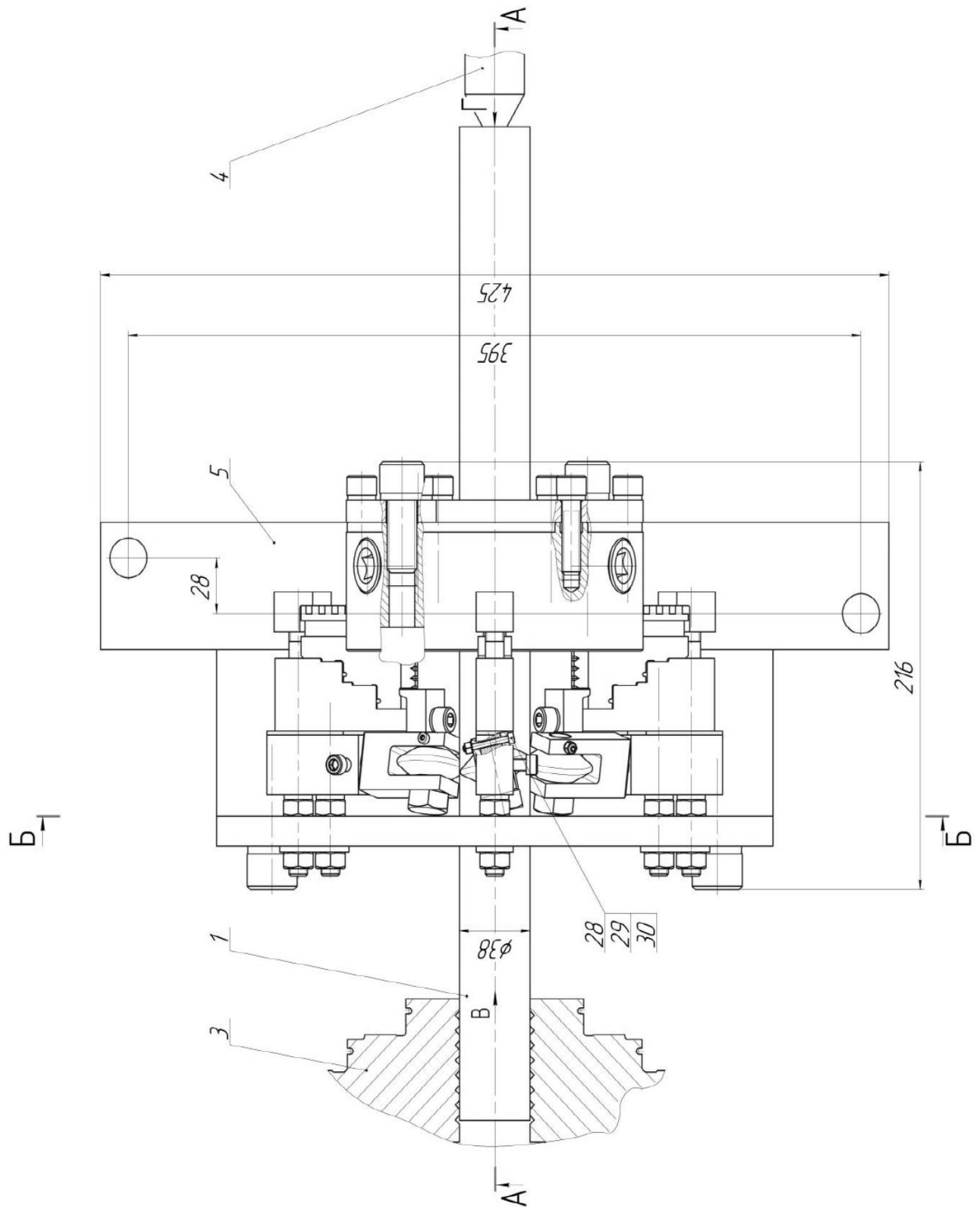


Рисунок 2.6 - Трироликова обкатна головка (вид зверху)

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

ДП.133.019.001.18.ПЗ

Арк.

18

A-A

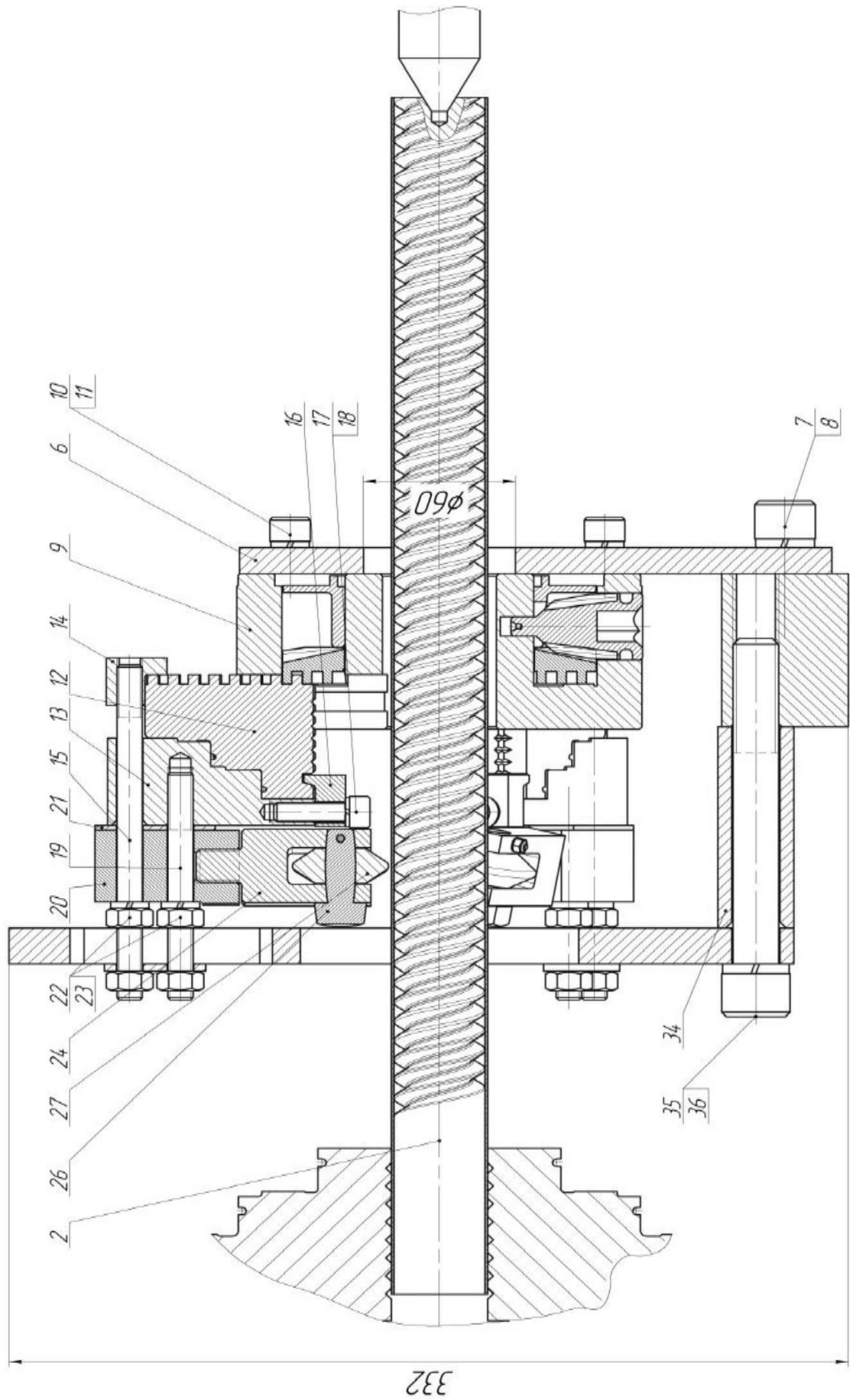


Рисунок 2.7 - Трироликва обкатна головки (розріз А-А)

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДП.133.019.001.19.ПЗ

Арк.

19

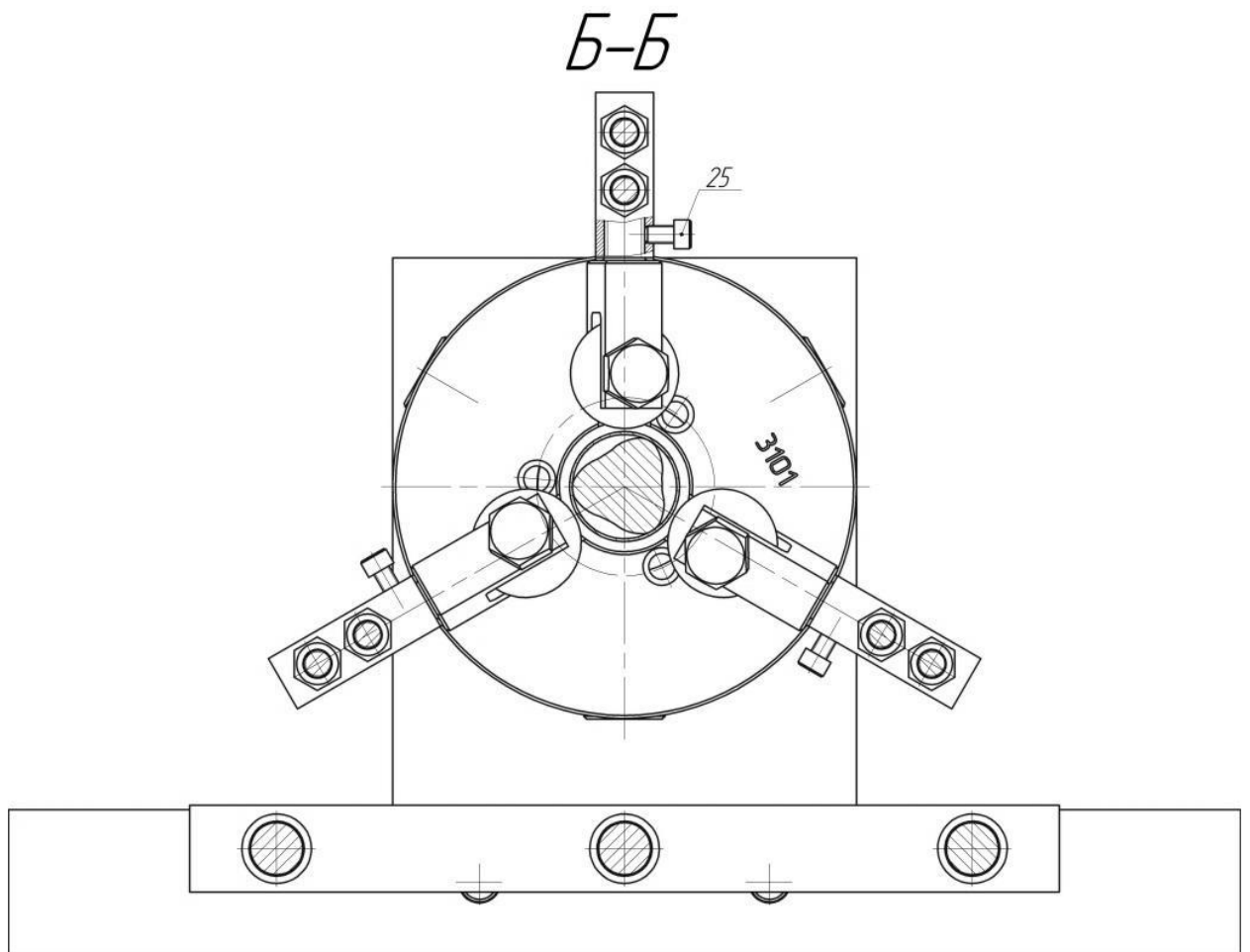


Рисунок 2.8 - Трироликівка обкатна головки (розріз Б-Б)

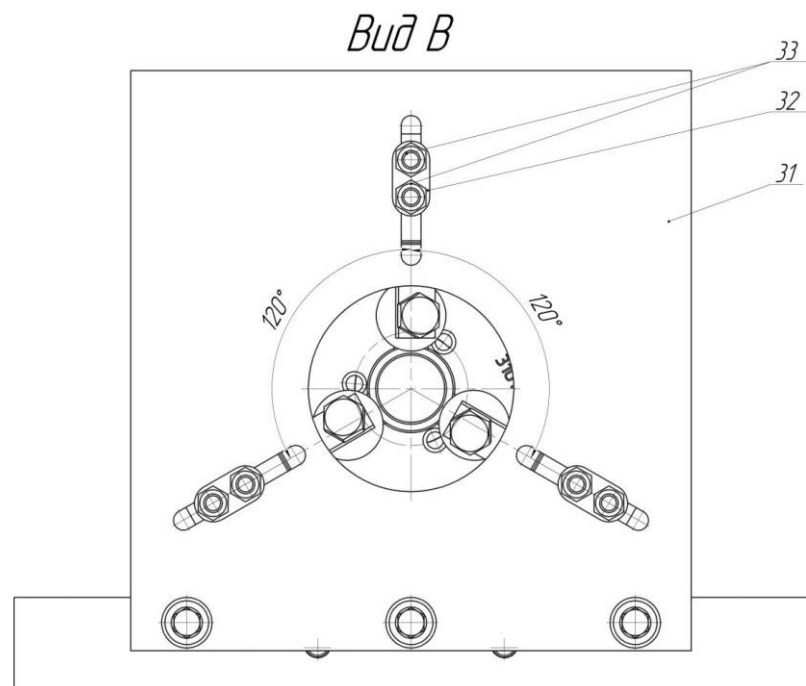


Рисунок 2.9 - Трироликівка обкатна головки (вид В)

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДП.133.019.001.20.ПЗ

Арк.

20

Вид Г

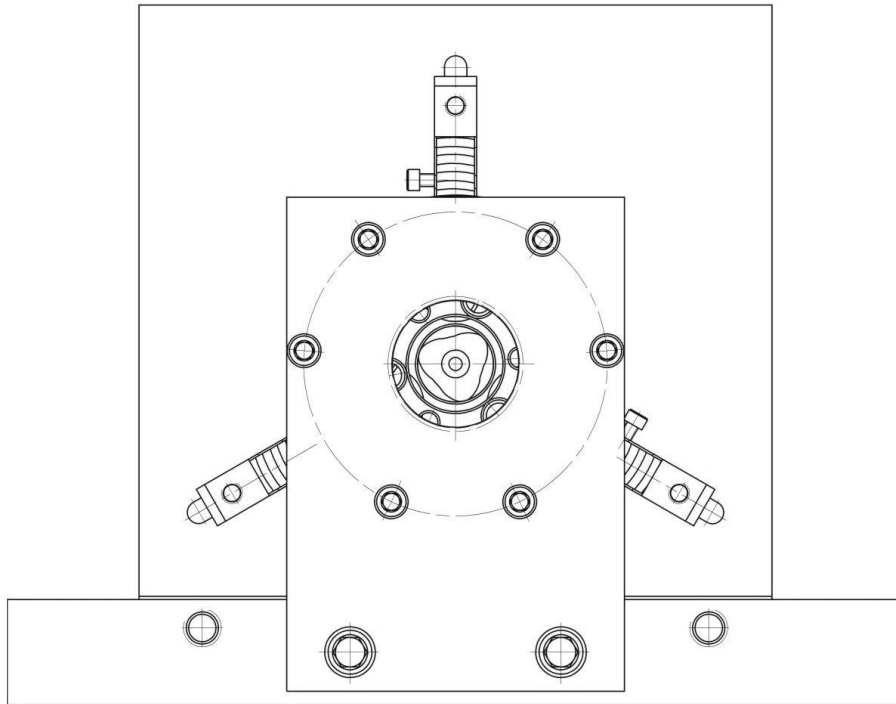


Рисунок 2.10 - Трироликівка обкатна головка (вид Г)

					ДП.133.019.001.21.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

Розділ 3

Моделювання процесу роликового обкочування тонкостінних труб

3.1. Чисельне моделювання процесу роликового обкочування гвинтоподібних труб

Чисельне моделювання дозволило отримати розподіли інтенсивностей напружень і деформацій в повздовжньому перерізі гвинтоподібних труб (рис. 3.1, 3.2). Розподіли інтенсивностей напружень та деформацій свідчать про течію матеріалу біля радіуса заокруглення ролика. Тому особлива увага приділялася даному місцю. Кожен випадок моделювання аналізувався з точки зору напружено-деформованого стану в перерізі А-А. Положення цього перерізу показано на рис. 3.3 [7].

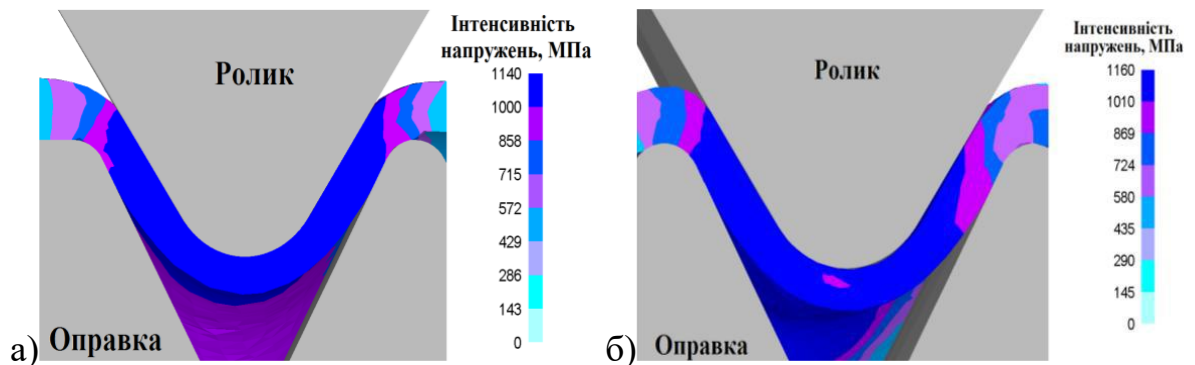


Рисунок 3.1 - Розподіл інтенсивності напружень в осередку деформації гвинтоподібної труби: а – однозахідної, б – тризахідної

Перетин А-А однозахідної та тризахідної гвинтоподібних труб було обрано для дослідження характерних точок, розташування яких показано на рис. 3.4. Результати моделювання дозволили побудувати графіки залежності інтенсивності напружень і деформацій (рис. 3.5, 3.6) від положення характерної точки, яке вимірювалося відносно осі z (рис. 3.4).

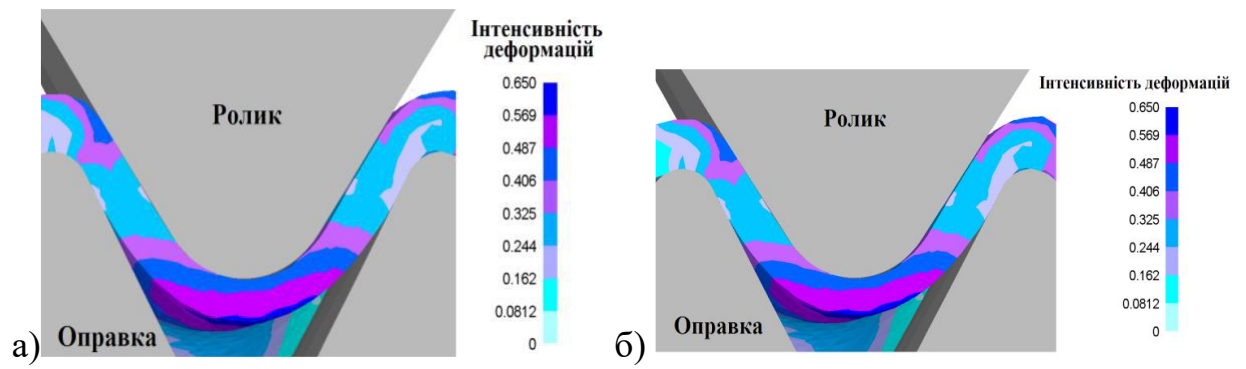


Рис. 3.2 - Розподіл інтенсивності деформацій в осередку деформації гвинтоподібної труби: а – однозахідної, б – тризахідної

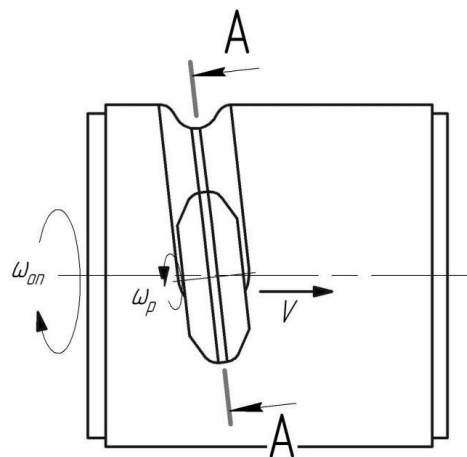


Рисунок 3.3 - Положення перерізу А-А для оцінки напружено-деформованого стану

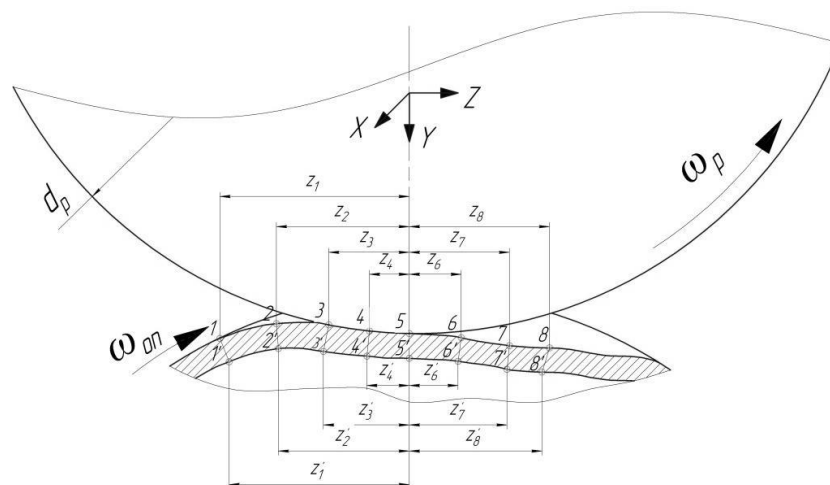


Рисунок 3.4 - Координати точок відносно осі z для проведення аналізу процесу обкочування гвинтоподібної труби

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДП.133.019.001.23.ПЗ

Арк.

23

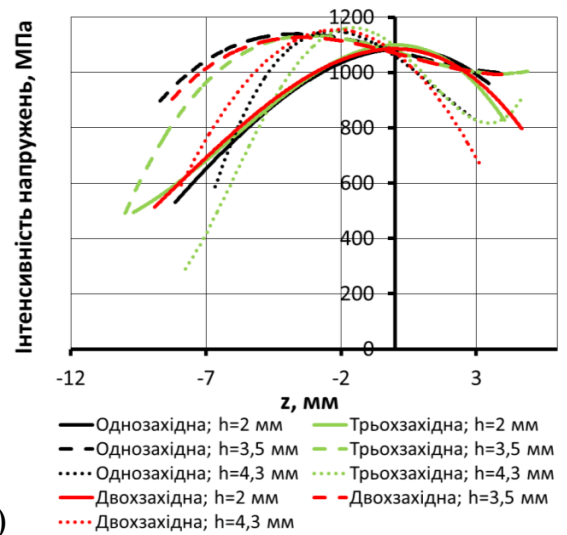
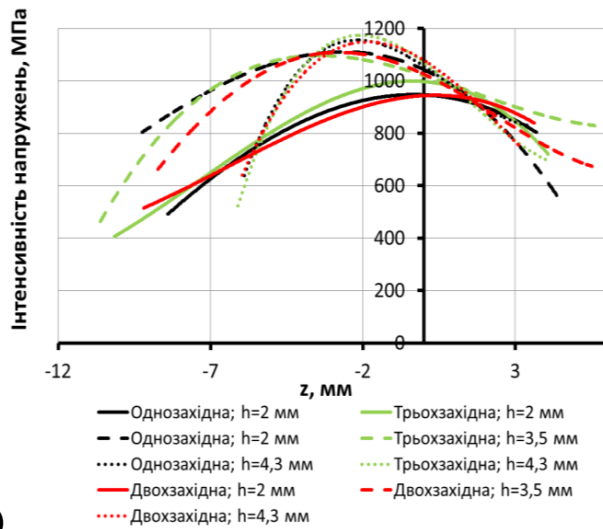


Рисунок 3.5 - Залежності інтенсивності напружень в перерізі А-А труби: а – зовнішня поверхня, б – внутрішня поверхня

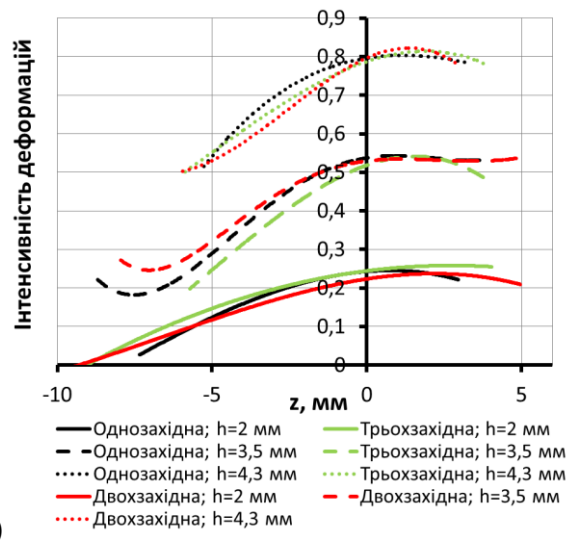
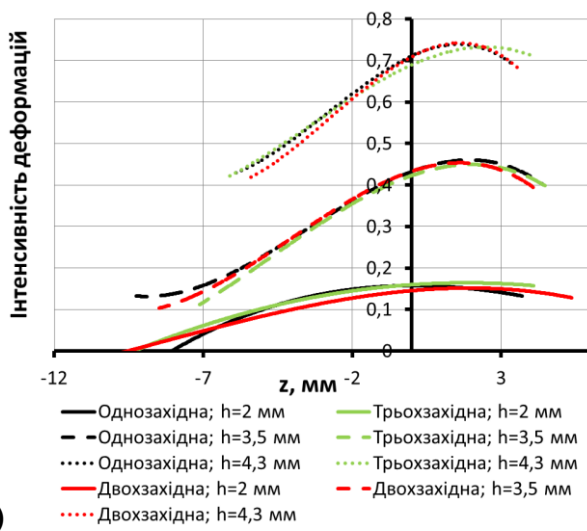


Рисунок 3.6 - Залежності інтенсивності деформацій в перерізі А-А труби: а – зовнішня поверхня, б – внутрішня поверхня

3.2. Аналіз чисельного моделювання

Оцінка впливу параметрів процесу обкочування на напружено-деформований стан виконана шляхом проведення серії чисельних

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

ДП.133.019.001.24.ПЗ

Арк.

24

модельовань при виготовленні однозахідної труби діаметром 38 мм із нержавіючої сталі AISI 304 роликami діаметрами 25; 30; 38; 40; 45; 100; 150 мм. Частота обертання труби-заготовки приймала такі значення 50; 100; 160; 200; 250 хв⁻¹. Крок гвинтової оправки був таким 6; 8; 10; 12; 20 мм за три проходи роликів. Формування канавки глибиною 2 мм відбувалося на першому проході і збільшувалась до 3,5 мм на другому. Останній третій прохід мав глибину 4,3 мм. Оцінка впливу радіуса заокруглення ролика та числа проходів роликів для послідовного збільшення глибини канавки гвинтоподібної труби, що формується, виконана по результати серії чисельних моделювань обкочування однозахідної труби діаметром 38 мм із нержавіючої сталі AISI 304 з формуванням канавки глибиною 2 мм. Отримані результати дозволили побудувати графіки (рис. 3.7, 3.8), впливу цих параметрів на максимальні значення інтенсивності напружень і деформацій.

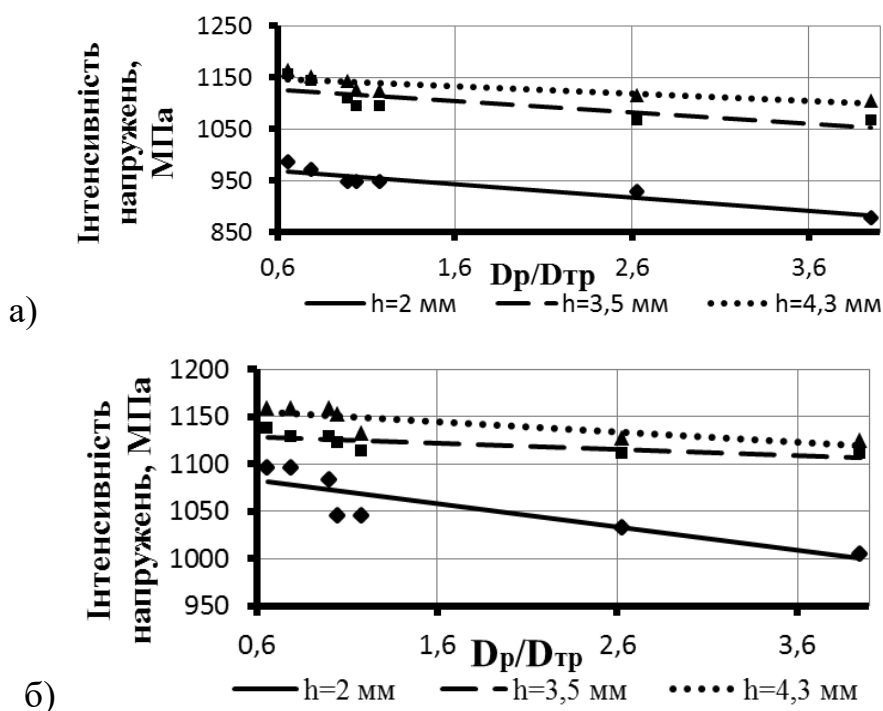
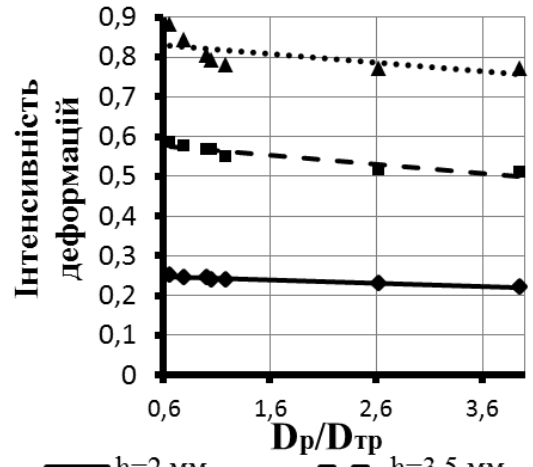
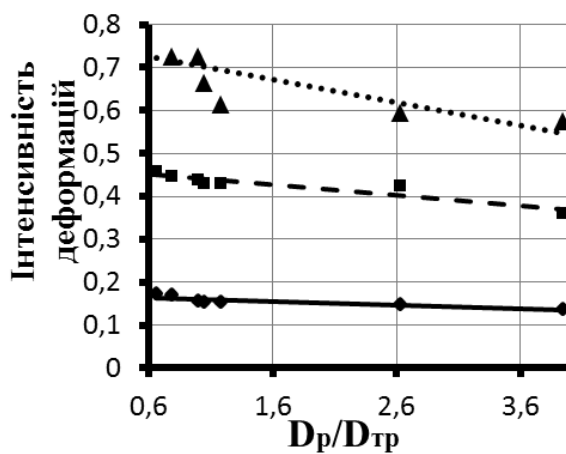


Рисунок 3.7 - Вплив відносної величини діаметра ролика до діаметра труби на максимальну величину інтенсивності напружень при формуванні канавок глибиною 2 мм, 3.5 мм, 4.3 мм: а – зовнішня поверхня, б – внутрішня поверхня



а) — $h=2$ мм - - $h=3,5$ мм $h=4,3$ мм

б) — $h=2$ мм $h=4,3$ мм - - $h=3,5$ мм

Рисунок 3.8 - Вплив відносної величини діаметра ролика до діаметра труби на максимальну величину інтенсивності деформації при формуванні канавок глибиною 2 мм, 3.5 мм, 4.3 мм: а – зовнішня поверхня, б – внутрішня поверхня

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДП.133.019.001.26.ПЗ

Арк.

26

ВИСНОВКИ

1. На основі аналізу сучасного стану і перспектив розвитку процесів формування гвинтоподібних труб роликним обкочуванням визначені їх недоліки, переваги та сформульовані основні завдання. Рішення цих завдань дозволить забезпечити високоякісних виробів з покращеними фізико-механічними властивостями без використання дорогих марок сталей.

2. Запропоновано нову конструкцію трироlikової обкатної головки для формування тризахідних гвинтоподібних труб. Розроблене обладнання та технологія отримання тризахідних гвинтоподібних труб дозволить виготовляти гвинтоподібні труби без оправки, а із створенням внутрішнього протитиску, в якості якого використовується сипуче середовище розташоване в середині труби.

3. Виконано чисельне моделювання процесу формування тризахідних гвинтоподібних труб роликним обкочуванням з використанням методу скінчених елементів. Визначено напружено-деформований стан в характерних точках осередку деформації в залежності від впливу відносних величин та глибини канавок. Здійснено порівняльний аналіз закономірностей зміни напружень і деформацій при формуванні однозахідної та тризахідної труби.

4. Запропонована конструкція обкатної головки для виготовлення тризахідних гвинтоподібних труб дозволить збільшити термін їх експлуатації, підвищити функціональну ефективність та отримати вагомий економічний ефект.

					ДП.133.019.001.27.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

Список використаних джерел

1. 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.
2. Shtern, M. B., 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.
3. 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.
4. 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).
5. 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.
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, Pomiaru w Gospodarce i Ochronie Srodowiska*, 2023, 13(1), pp. 64–70. <https://doi.org/10.35784/iargos.3496>.
7. Маковей В.О. Моделювання процесу профілювання канавок на трубах роликівим обкочуванням / В.О. Маковей, П.Ю. Проценко // Вісник Київського політехн. ін-та. Машинобудування. – 2011. – №62. – С. 203-206.
8. 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).

					ДП.133.019.001.28.ПЗ	Арк.
						28
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

9. 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.

10. 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).

11. 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.

12. 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.

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>.

					ДП.133.019.001.29.ПЗ	Арк.
						29
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Додатки

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

Формат	Зона	Поз.	Познака	Найменування	Кіл.	Примітка
				Документація		
A3			ДП.133.019.002.00.СБ	Складальний кресленник		
				Деталі		
A4	7		ДП.133.020.001.07.	Ролик	1	
A4	9		ДП.133.020.001.09.	Плита	1	
A4	11		ДП.133.020.001.11.	Вилка	1	
A4	14		ДП.133.020.001.14.	Корпус вилки	1	
			ДП.133.020.001.00.ПЗ			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		
Розробив		Андрійчук А.В.			Літера	Аркуш
Перевірів		Сивак Р. І.				Аркушів
Н. контр.		Сивак Р. І.			Поліський національний університет, гр. ГМ-20	
Затв.		Шелудченко Б. А				
Головка обкатна трироликосва						