

**Міністерство освіти і науки України**  
**Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя**

---

Факультет інженерії машин, споруд та технологій

---

Кафедра інжинірингу машинобудівних технологій

---

## **КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

на здобуття освітнього ступеня  
**магістр**

---

на тему: Розроблення технології виготовлення  
секційної гвинтової спіралі ЖВМ 22.119 з дослідженням процесу її формовки

---

Виконав(ла): студент(ка) 6 курсу, групи МПм-61  
спеціальності 131 «Прикладна механіка»  
(шифр і назва спеціальності)

---

	<u>Василик М.М.</u> (прізвище та ініціали)
Керівник	<u>Васильків В.В.</u> (прізвище та ініціали)
Нормоконтроль	<u>Ткаченко І.Г.</u> (прізвище та ініціали)
Завідувач кафедри	<u>Окіпний І.Б.</u> (прізвище та ініціали)
Рецензент	<u>Олексюк В.П.</u> (прізвище та ініціали)

Тернопіль  
2022

Міністерство освіти і науки України  
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет Інженерії машин, споруд і технологій  
(повна назва факультету)

Кафедра інжинірингу машинобудівних технологій  
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Окіпний І.Б.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

«    »

2022 р.

**ЗАВДАННЯ  
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

на здобуття освітнього ступеня магістра  
(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 131 "Прикладна механіка"  
(шифр і назва спеціальності)

студенту Василю Михайлу Михайловичу  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розроблення технології виготовлення  
секційної гвинтової спіралі ЖВМ 22.119 з дослідженням процесу її формовки

Керівник роботи Васильків Василь Васильович, доктор технічних наук  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від « 11 » 11 2022 року № 4/7 -904

2. Термін подання студентом завершеної роботи \_\_\_\_\_

3. Вихідні дані до роботи креслення секційної гвинтової спіралі, інформація про технологічні  
можливості машинобудівного підприємства

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)

1. Розробити ТП виготовлення секційної гвинтової спіралі, з математичним описом структури спроектованого ТП.

2. Повести аналіз допусків на виготовлення гвинтових спіралей за різними стандартами.

3. Здійснити експериментальні дослідження різних способів виготовлення секційних гвинтових спіралей.

4. Виконати дослідження відомих аналітичних та комп'ютерних методик розрахунків геометричних параметрів кільцевих секторних заготовок для отримання гвинтових спіралей деталей машин з розробкою рекомендацій щодо їх використання в проектних розрахунках.

5. Спроектувати конструкцію штампів для отримання кільцевої заготовки.

6. Розробити ТП виготовлення секційної гвинтової спіралі, з математичним описом структури спроектованого ТП.

7. Структурувати основні небезпечні та шкідливі виробничі фактори та відповідні заходи щодо зменшення їх шкідливого впливу та норми техніки безпеки а також визначити основні протипожежні заходи для реалізації безпечної роботи на підприємстві при реалізації технології виготовленні секційної гвинтової спіралі ЖВМ 22.119.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)  
Огляд технологічних способів отримання секційних гвинтових спіралей (А1)

*Конструкції штампів для отримання кільцевої заготовки та кільцевої секторної заготовки (2А1)*  
*Графічні залежності результатів дослідження відомих аналітичних та комп'ютерних методик розрахунків геометричних параметрів кільцевих секторних заготовок для отримання секційних гвинтових спіралей (2А1)*  
*Математичний опис структури ТП виготовлення секційної гвинтової спіралі (А1)*  
*Схема узагальненого технологічного маршруту виготовлення шнека (2А1)*

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
<i>Охорона праці</i>	Ткаченко І. Г., доц. каф. МТ		
<i>Безпека в надзвичайних ситуаціях</i>	Клепчик В. М., ст. викл. каф. ОХ		

7. Дата видачі завдання 11.11.2022

**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
	<i>Аналітична частина</i>	02.11.2022	
	<i>Науково-дослідна частина</i>	14.12.2022	
	<i>Технологічно-конструкторська частина</i>	09.11.2022	
	<i>Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях</i>	06.12.2022	
	<i>Графічна частина</i>	14.12.2022	
	<i>Опублікування матеріалів результатів досліджень</i>	06.12.2022	
	<i>Захист магістерської роботи</i>		

Студент

\_\_\_\_\_ (підпис)

Василик М.М.

\_\_\_\_\_ (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

\_\_\_\_\_ (підпис)

Васильків В.В.

\_\_\_\_\_ (прізвище та ініціали)

## РЕФЕРАТ

Тема кваліфікаційної роботи: “Розроблення технології виготовлення секційної гвинтової спіралі ЖВМ 22.119 з дослідженням процесу її формовки”.

У кваліфікаційній роботі дано загальну характеристику секційної гвинтової спіралі ЖВМ 22.119, показано актуальність тематики досліджень, дано загальну характеристику конструктивному виконанню секційних гвинтових спіралей та технологічних способів їх отримання з початкових кільцевих заготовок. проведено аналіз точності виконання згаданих спіралей. Також розроблено ТП виготовлення секційної гвинтової спіралі, з математичним описом структури спроектованого ТП, проведено аналіз допусків на виготовлення гвинтових спіралей за різними стандартами, виконано експериментальні дослідження різних способів виготовлення секційних гвинтових спіралей та дослідження відомих аналітичних та комп’ютерних методик розрахунків геометричних параметрів кільцевих секторних заготовок для отримання гвинтових спіралей деталей машин з розробкою рекомендацій щодо їх використання в проектних розрахунках. Крім цього спроектовано конструкцію штампу для отримання кільцевої заготовки.

В рамках цього структуровано основні небезпечні та шкідливі виробничі фактори та відповідні заходи щодо зменшення їх шкідливого впливу та норми техніки безпеки а також визначено основні протипожежні заходи для реалізації безпечної роботи на підприємстві при реалізації технології виготовленні секційної гвинтової спіралі ЖВМ 22.119.

Пояснювальна записка до випускної кваліфікаційної роботи містить: 72 с., 38 рис., 3 табл., 3 додатки на 19 стор., 29 джерел переліку посилань, 8 листів графічної частини.

*Об’єкт, методи та джерела дослідження.* Основним об’єктом дослідження є методика проектування кільцевих секторних заготовок та технологія формування гвинтових спіралей зі згаданих кільцевих секторних заготовок.

Методи виконання роботи: порівняльний, комп’ютерного моделювання;

теоретико-емпіричний. Розрахунки проведені шляхом використання сучасних математичних методів та обчислювальних засобів.

Метою розробки є підвищення ефективності проектних розрахунків на основі дослідження методик розрахунків геометричних параметрів кільцевих секторних заготовок для отримання гвинтових спіралей шнекових робочих органів деталей машин.

*Практичне значення отриманих результатів* полягає в рекомендаціях щодо особливостей використання відомих методів розрахунку конструктивних параметрів кільцевих секторних заготовок з яких отримують секційні гвинтові спіралі.

Результати наукових досліджень тезисно викладені в матеріалах Міжнародної науково-технічної конференції “Нові та нетрадиційні технології в ресурсо- та енергозбереженні”, яка відбулась 24-25 листопада 2022 р. в Національному університеті «Одеська політехніка».

*Ключові слова:* гвинтова спіраль, кільцева секторна заготовка, проектування, виток.

# **ЗМІСТ**

## **ВСТУП**

### **1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА**

1.1 Актуальність досліджень

1.2 Загальна характеристика конструктивного виконання секційних гвинтових спіралей та огляд технологічних способів їх отримання з початкових кільцевих заготовок

1.3. Аналіз допусків на виготовлення гвинтових спіралей за різними стандартами

1.5 Основні висновки та завдання для виконання дипломної роботи

### **2 НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА**

2.1 Умови проведення дослідження конструктивних параметрів секційної гвинтової спіралі для різних способів її формоутворення

2.2 Відомі аналітичні залежності для розрахунку конструктивних параметрів секційних гвинтових спіралей

2.3 Результати експериментальних та теоретичних досліджень та їх обговорення

2.4 Висновки до розділу

### **3 ТЕХНОЛОГІЧНО-КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА**

2.1. Формалізований опис структури спроектованого ТП виготовлення секційної гвинтової спіралі ЖВМ 22.119

3.2. Штамп для отримання кільцевої заготовки у виробництві секційної гвинтової спіралі ЖВМ 22.119

3.3 Висновки до розділу

### **4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ**

4.1 Основні небезпечні та шкідливі виробничі фактори при виготовленні спіралі

4.2 Техніка безпеки під час виконання штампувальних робіт

4.3 Техніка безпеки при роботі на фрезерних верстатах

4.4 Протипожежні заходи

4.5 Висновки до розділу

### **ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ**

### **ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ**

### **ДОДАТКИ**

## ВСТУП

У сучасному машинобудуванні широко використовують деталі машин типу шнеки. Основним технологічно складним і відповідальним елементом таких виробів є гвинтові спіралі, які отримують із секційних гвинтових спіралей початковими заготовками для яких є кільцеві секторні заготовки. Існуючі різноманітні методики розрахунку секційних гвинтових спіралей передбачають значні допуски на їх розміри. Крім цього існує значне розходження розрахункових даних, отриманих за різними методиками. Це завищує витрати матеріалу. Крім цього відсутні дослідження стосовно зв'язку способу отримання секційних гвинтових спіралей та методу розрахунку відповідних кільцевих секторних заготовок.

# 1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

## 1.1 Актуальність досліджень

У сучасному машинобудуванні широко використовують деталі машин типу шнеки [12, 18]. Основним технологічно складним і відповідальним елементом таких виробів є гвинтові спіралі (ГС), які отримують різними технологічними способами, такими як обробка тиском, лиття, обробка різанням [5, 728]. Найпоширенішим способом є формовка [8, 10, 13, 21-23, 25, 26, 28].

Підтвердженням інтересу до таких виробів є активність пошукових запитів за останні 5 років, які досліджувалися в середовищі інформаційної системи <https://trends.google.com/trends/?geo=US>.

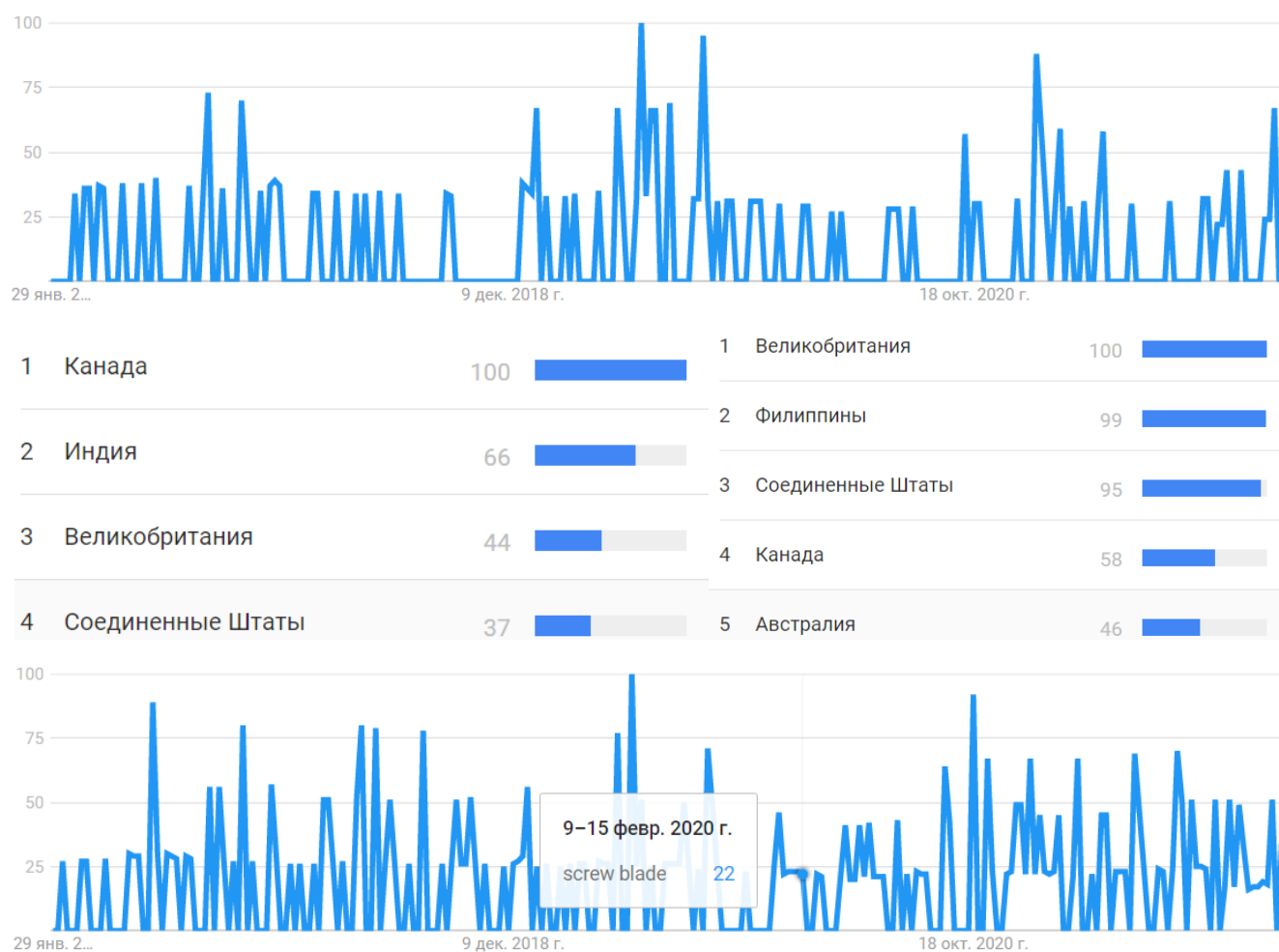


Рисунок 1.1 - Динаміка популярності науково-технічних розробок стосовно технологій отримання секційних гвинтових спіралей та способів їх розрахунку за останні 5 років



Із рисунка 1 бачимо високий рівень інтересу до технологій отримання секційних гвинтових спіралей та способів їх розрахунку. На рисунку проілюстровано перелік країн у яких виявлено найбільший рівень інтересу науково-технічних розробок за згаданою тематикою.

Існуючі різноманітні методики розрахунку секційних гвинтових спіралей [8, 9, 14, 17, 23, 25,28] передбачають значні допуски на їх розміри. Крім цього існує значне розходження розрахункових даних, отриманих за різними методиками. Це завищує витрати матеріалу. Крім цього відсутні дослідження стосовно зв'язку способу отримання секційних гвинтових спіралей та методу розрахунку відповідної кільцевої секторної заготовки.

## **1.2 Загальна характеристика конструктивного виконання секційних гвинтових спіралей та огляд технологічних способів їх отримання з початкових кільцевих заготовок**

Зважаючи на конструктивну різноманітність гвинтових спіралей одним із найпоширеніших видів таких заготовок є секційна гвинтова спіраль (СГС) [1], розгортка якої на площині являє собою кільцевий сектор, центральний кут якого не перевищує 360град. Такий кільцевий сектор називають кільцевою секторною заготовкою. Вона є початковою заготовкою для отримання згаданої секційної гвинтової спіралі ЖВМ 22.119. Кільцеву секторну заготовку отримують вирубанням або плазмовим різанням з листового прокату або з кільцевої заготовки.

Основними геометричними параметрами СГС є діаметри зовнішньої  $D$  і внутрішньої  $d$  крайок витка, кут  $\tilde{\theta}$  нахилу твірної поверхні витка відносно поздовжньої осі спіралі, товщина зовнішньої  $h$  та внутрішньої  $H$  крайок, крок  $T$  та висота витка  $B$ . Кільцеву секторну заготовку характеризують такі параметри як зовнішній  $D_0$  і внутрішній  $d_0$  діаметри крайок, товщина  $H_0$  та кут вирізу або центральний кут такої заготовки.

Основними операціями ТП отримання СГС здійснюють є термічне

вирізування чи вирубування (пробивання) з листового прокату КСЗ, а також операція холодної чи гарячої формовки, зміст якої полягає у формуванні крокової спіралі (надання форми витка) у штампі, або за допомогою спеціальних пристосувань для розведення кінців заготовки на величину кроку гвинтової поверхні.

Окремі способи виготовлення секційних гвинтових спіралей представлено на рис. 1.2 [10].

Основними структурними елементами зображених схем формоутворення розглянутих заготовок є [3]: *деформуючі інструменти*, які можуть бути виконаними у вигляді валків, роликів, планок, матриць, пуансонів (на ілюстраціях позначено поз. 1, 2, 3); *опорні елементи* у формі оправи (валу), *направляючі елементи*, які виконані здебільшого у формі направляючої труби; *початкова заготовка* (кільцева секторна заготовка, кільцева заготовка) (див. поз. 9); *гвинтова спіраль* (поз. 10); направляючі елементи спіралі; елементи формування кроку; *проміжна заготовка* (на рисунках позначено поз. 14); *механізм для кріплення витків до опорного елемента*.

Найчастіше використовуваним способом формоутворення секційних ГС є формовка тобто витяжка в гарячому чи холодному штампі на пресі за допомогою горизонтально або вертикально розміщених пуансона і матриці з гвинтовими робочими поверхнями (рис. 1.2, а, б), крок яких рівний кроку витка отриманої спіралі. Для підвищення точності формоутворення секційних ГС із важкооброблюваних металів і сплавів здійснюють послідовну покрокову деформацію окремих сегментних ділянок кільцевої заготовки за допомогою сегментних пуансона і матриці з робочими гелікоїдними поверхнями (рис. 1.2, в, г), центральний кут яких значно менший за центральний кут гвинтової спіралі. Виготовлення секційних ГС також здійснюють способами, що реалізуються шляхом дискретного скручування кільцевих секторних заготовок в осьовому напрямку (рис. 1.2, д, е). Зокрема на схемі 1.2, д кільцева секторна заготовка встановлюється між верхнім та нижнім поворотними штампами. Фіксація кінця такої заготовки здійснюється шляхом встановлення ділянки верхньої крайки

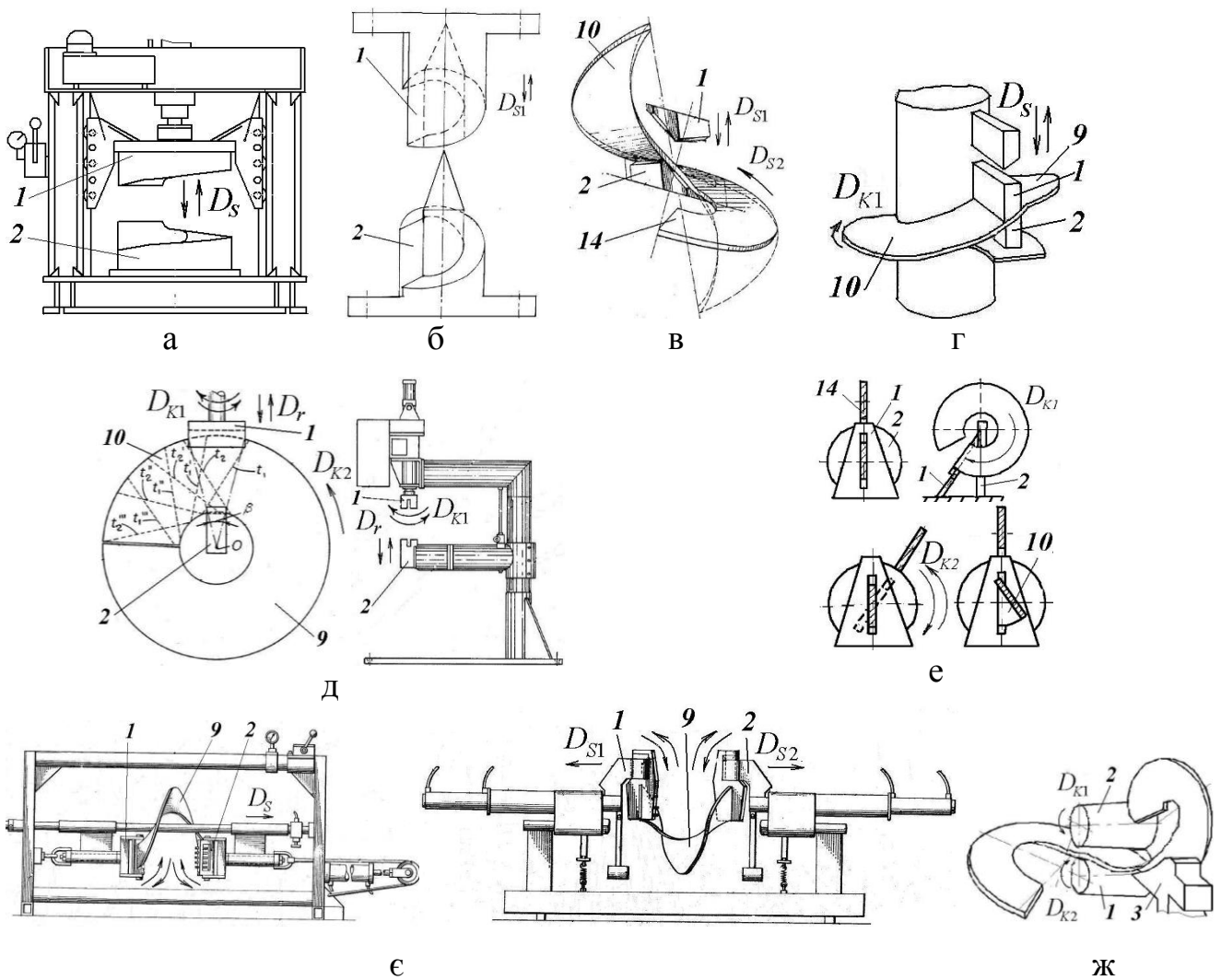


Рисунок 1.2 - Типові схеми формоутворення секційних гвинтових спіралей: а, б – формовка між пуансоном та матрицею, які використовують фірмою "GU YIFENG" (Китай); в – дискретне покрокове деформування, яке реалізоване виробничими потужностями заводу "PET ARN ALTENA" (м. Remscheid-Hasten, Німеччина); г – спосіб статико-імпульсного деформування, запропонований авторами Катеуама Меі, Kawashima Takeo у Пат. №JP62060170; д – технологія фірми "KOPPERS CO INC" (США); е – спосіб Золотухіна С.В. (Пат. України №53522); є – осьове розтягування на крок (Пат. №US3485116), ж – асиметричне обтискання валками та розгинання на крок [10, 28]

такої заготовки в паз верхнього поворотного штампа, а внутрішньої ділянки – в паз нижнього рухомого у вертикальному напрямку штампа. Останній може бути виконаний з можливістю зворотно-обертового руху. Величина кута зміщення

інструментів не перевищує 15-20 град. У наведеній схемі формоутворення нижній штамп виконаний нерухомим без можливості кутового повертання, але з можливістю циклічного зворотно поступального руху у вертикальному напрямку, а верхній - рухомим з можливістю зворотно обертового повертання на кут, значення якого визначається кутами нахилу зовнішньої та внутрішньої крайок витка секційної ГС (на рисунках позначено  $t_1, t_1', t_1''$  – лінії деформації;). Після деформації скручуванням верхній штамп здійснює вертикальне переміщення завдяки чому заготовку переустановлюють шляхом повертання відносно її власної осі  $O$  з наступним опусканням верхнього штамп. Далі цикл деформації повторюють.

Схема формоутворення, яка зображена на рис. 1.2 є реалізується шляхом послідовного інкрементального посекторного розтягування початкової заготовки. Основні тенденції вдосконалення таких технологій спрямовані на автоматизацію процесу формоутворення, розширення технологічних можливостей, підвищення продуктивності праці та покращення умов подачі заготовки в зону деформації (Пат. №АТ354829, А.С. СРСР №667282А). Прикладом є технології, які реалізовані на устаткуванні фірми “OESTREICHER PURATOR” (Австрія).

В одиничному та дрібносерійному виробництвах здебільшого використовують спосіб “вільного розтягування на крок”. Його реалізують шляхом на штампах, крановому устаткуванні чи спеціальних технологічних пристосуваннях, які дозволяють здійснювати деформацію кільцевої секторної заготовки в осьовому напрямку шляхом розведення і переміщення в осьовому напрямку її бічних кінців. Типовим прикладом є схема, яка зображена на рис. 1.2 є, що у сучасному виробництві реалізується на базі спеціальних технологічних пристосувань та устаткування (Пат. №№EP0161787A3, EP0161787B1, JP2005052851, US4693861A1), JP60259422A, JP4105715).

Для підвищення точності гвинтової поверхні КСЗ обґрунтованою є реалізація способу прокатування тобто асиметричного обтискання кільцевої секторної заготовки між валками (рис. 1.2 ж). Це зумовлено властивістю гелікоїдних

поверхонь: кільцева заготовка у гвинтову поверхню без значної пластичної деформації не трансформується.

Однак, незважаючи на значне різноманіття таких способів найбільшого поширення набули способи, проілюстровані на рисунку 1.2 а, б і є.

### **1.3. Аналіз допусків на виготовлення гвинтових спіралей за різними стандартами**

Точність основних параметрів та типорозміри таких спіралей у конструкціях деталей машин різного функціонального призначення регламентується значною кількістю стандартів [8, 11], серед яких можна виділити: IS:5563-1985 (R2005), CEMA STANDARD NO. 300, DIN 15261-2-1986, ГОСТ2705-73, ТУ56-199-81, ГОСТ24328-80 і ТУ3147-001-01423045-2007, ГОСТ 6113-84, ГОСТ 4025-95, ГОСТ2037-82, ДСТУ 2763-94, ОСТ12.44.286-85, ТУ3113-018-07520139-2008, ТУ5264-001-21477574-2013, ТУ5270-051-98799549-07, ТУ3.407.9-158 та ін. Порівняння величин розподілу граничних відхилень полів допусків на діаметр (рис. 1.3) та крок (рис. 1.4) гвинтових спіралей показало значний розхил таких відхилень.

Здебільшого допуск на виконання зовнішнього діаметра гвинтової спіралі із відкритою навивкою відповідає 17-18 квалітетам або перевищують значення граничного квалітету в 2 рази. Подібно допуск на виконання кроку таких спіралей із відкритою навивкою відповідає 17-18 квалітетам. У багатьох випадках, у розмірних характеристиках спіралей, що регламентуються стандартами розміри діаметра та кроку спіралей в 1,4 – 1,6 рази перевищують граничний квалітет.

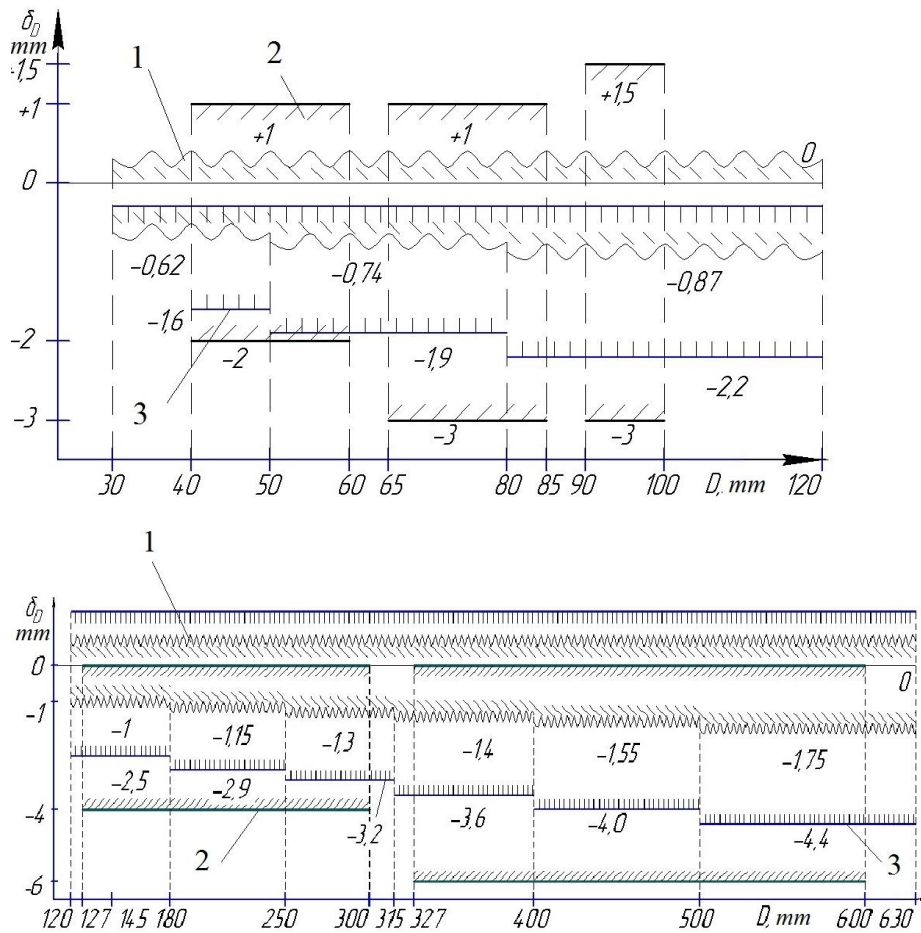


Рисунок 1.3 - Узагальнений графік розподілу граничних відхилень полів допусків на діаметр зовнішньої крайки витків ГС залежно від діаметрів витків для  $15 \text{ мм} \leq H_c \leq 40 \text{ мм}$ ;  $0,66 < T/D \leq 1,0$ ;  $2,5 \leq BH^{-1} \leq 5,6$ : 1, 3 - відповідно ГС із закритою та відкритою навивками, які отримані способом навивання смуг на оправу; 2 -, ГС із відкритою навивкою, які отримані способами формовки і прокатки.

У зв'язку з використанням новітніх прогресивних технологій отримання таких спіралей (навивання, повітряно-плазмове різання тощо) сучасні технології дозволяють виготовляти з точністю точні гвинтові ходи з допустимими похибками, що перевищують стандарт СЕМА та інші стандарти. Найточнішими є параметри точності виконання спіралей, отриманих методом навивання смуг на оправу. Допуск на виготовлення таких заготовок діаметром до 100 мм відповідає 8-9 квалітетам. Гвинтові спіралі підвищеної точності із закритою навивкою можна досягти шляхом суміщення операції навивання і поверхневого пластичного деформування. У цьому випадку точність одержаних заготовок за

зовнішнім діаметром відповідає 12-13 квалітетам точності. Через це багато фірм ("Tecnofer", "Colombo Pietro", "Spirotech Shaftless Spirals", "Agrispiral srl", "VoR Environmental", "Bechtel GmbH", "Martin Sprocket & Gear Inc.", "FLITECH S.r.l.", "VAV Aandrijvingen B.V.", "E. Aschauer GmbH", "Rösner Maschinenbau und Förderteile GmbH & Co") використовують власну градацію розмірів та їх граничних відхилень. Таким чином існує необхідність у розробці гармонізованих стандартів, які урахують усю номенклатуру, типорозміри та сучасні досягнення в галузі виробництва гвинтових спіралей.

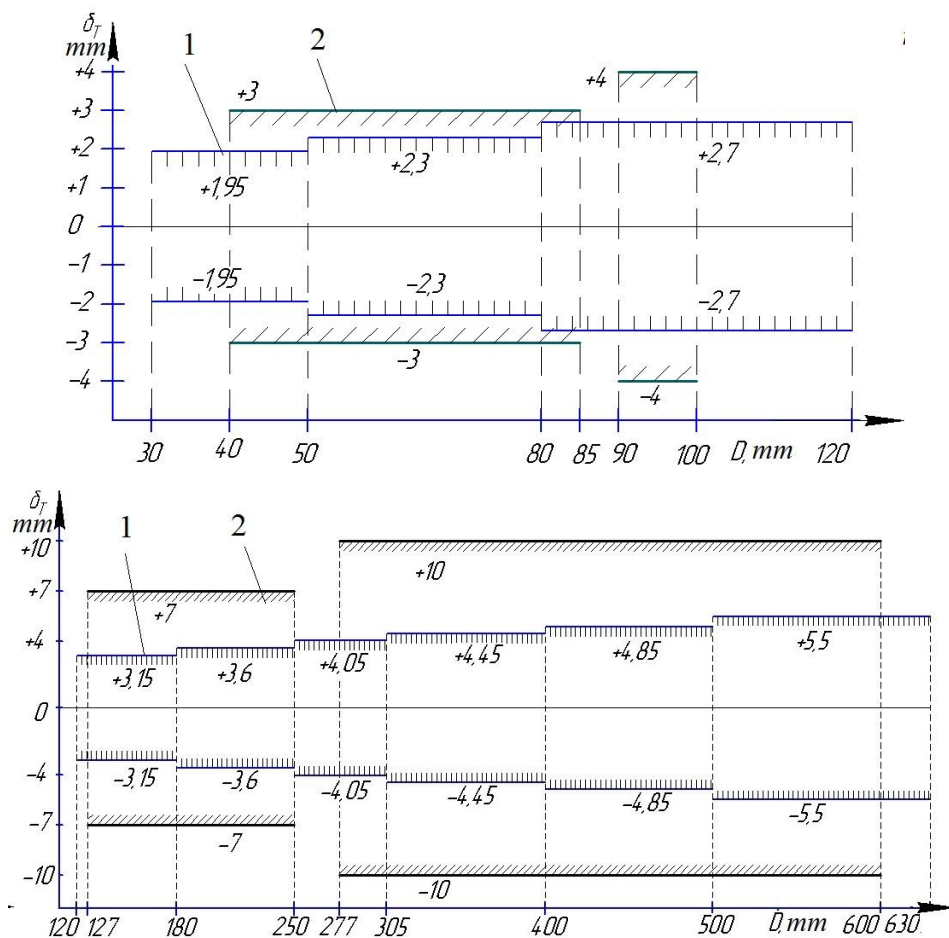


Рисунок 1.4 - Графіки розміщення допусків на виконання кроку витків ГС із відкритою навивкою залежно від діаметра зовнішньої крайки витків в інтервалах діаметрів витків до 120мм та від 120 до 630 мм для  $0,5 \leq T/D \leq 1,0$ ;  $3 \text{ мм} \leq H_s \leq 4 \text{ мм}$ ,  $BH^{-1} \leq 9 \text{ мм}$ : 1 - спіралі фірми Flitech; 2 - ГС згідно галузевих стандартів

## **1.4 Основні висновки та завдання для виконання дипломної роботи**

У розділі показано актуальність тематики досліджень, дано загальну характеристику конструктивному виконанню секційних гвинтових спіралей та технологічних способів їх отримання з початкових кільцевих заготовок. проведено аналіз точності виконання згаданих спіралей.

*Завдання наукової роботи:*

1. Розробити ТП виготовлення секційної гвинтової спіралі, з математичним описом структури спроектованого ТП.
2. Повести аналіз допусків на виготовлення гвинтових спіралей за різними стандартами.
3. Здійснити експериментальні дослідження різних способів виготовлення секційних гвинтових спіралей.
4. Виконати дослідження відомих аналітичних та комп'ютерних методик розрахунків геометричних параметрів кільцевих секторних заготовок для отримання гвинтових спіралей деталей машин з розробкою рекомендацій щодо їх використання в проектних розрахунках.
5. Спроекувати конструкцію штампу для отримання кільцевої заготовки та кільцевої секторної заготовки.
6. Структурувати основні небезпечні та шкідливі виробничі фактори та відповідні заходи щодо зменшення їх шкідливого впливу та норми техніки безпеки а також визначити основні протипожежні заходи для реалізації безпечної роботи на підприємстві при реалізації технології виготовленні секційної гвинтової спіралі ЖВМ 22.119.



## 2 НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА

### 2.1 Умови проведення дослідження конструктивних параметрів секційної гвинтової спіралі для різних способів її формоутворення

Дослідження конструктивних параметрів секційної гвинтової спіралі зі сталі AISI1015 для різних способів її формоутворення здійснювали на основі відомих методик експериментальних досліджень та комп'ютерного моделювання [16, 27].

Як устаткування використовували гідравлічний прес (рис. 2.2) подвійної дії зусиллям 6,3 МН з ходом повзуна 200 мм та спеціальне пристосування (рис. 2.1) у вигляді попередньо нагрітій до температури 40 °С пуансона і матриці з гвинтовими робочими поверхнями. Їх попередньо змащували розбавленою дистильованою водою у відношенні 1/30 водографітовою суспензією “Графітол-В”.

У досліджуваній технології формовки кільцеву секторну заготовку попередньо нагрівали до температури 60°C. Потім її розміщували в штампі між гвинтовими поверхнями пуансона та матриці (рис. 2.2). Пластичне деформування здійснювали в процесі зближення та змикання по товщині заготовки робочих поверхонь інструментів.

Здійснювали дослідження технології виготовлення секційних гвинтових спіралей в діапазоні  $T/D = 0,5 - 0,55$  та  $D/d = 1,88 - 2,19$ .

Заміри конструктивних параметрів ГС і кільцевих секторних заготовок здійснювали шляхом використання штангеншнекоміра та штангенциркуля. Схеми вимірювань описані в праці [28].

Як відомо, комп'ютерне моделювання є невід'ємною частиною сучасних досліджень процесів виробництва виробів різного функціонального призначення [6]. Тому таке моделювання процесу утворення секційних ГС здійснювали на основі побудови 3D моделей інструментів та заготовок на основі методик, викладених в працях [1-4], а також використання методу кінцевих елементів в середовищі програмного продукту DEFORM (США) (рис. 2.3). Здійснювали також розгортку

гвинтових поверхонь в програмах BLANKWORKS, T-FLEX CAD.

У роботі здійснювали співставлення результатів комп'ютерного моделювання, даних отриманих за розрахунковими аналітичними залежностями та експериментальних досліджень.

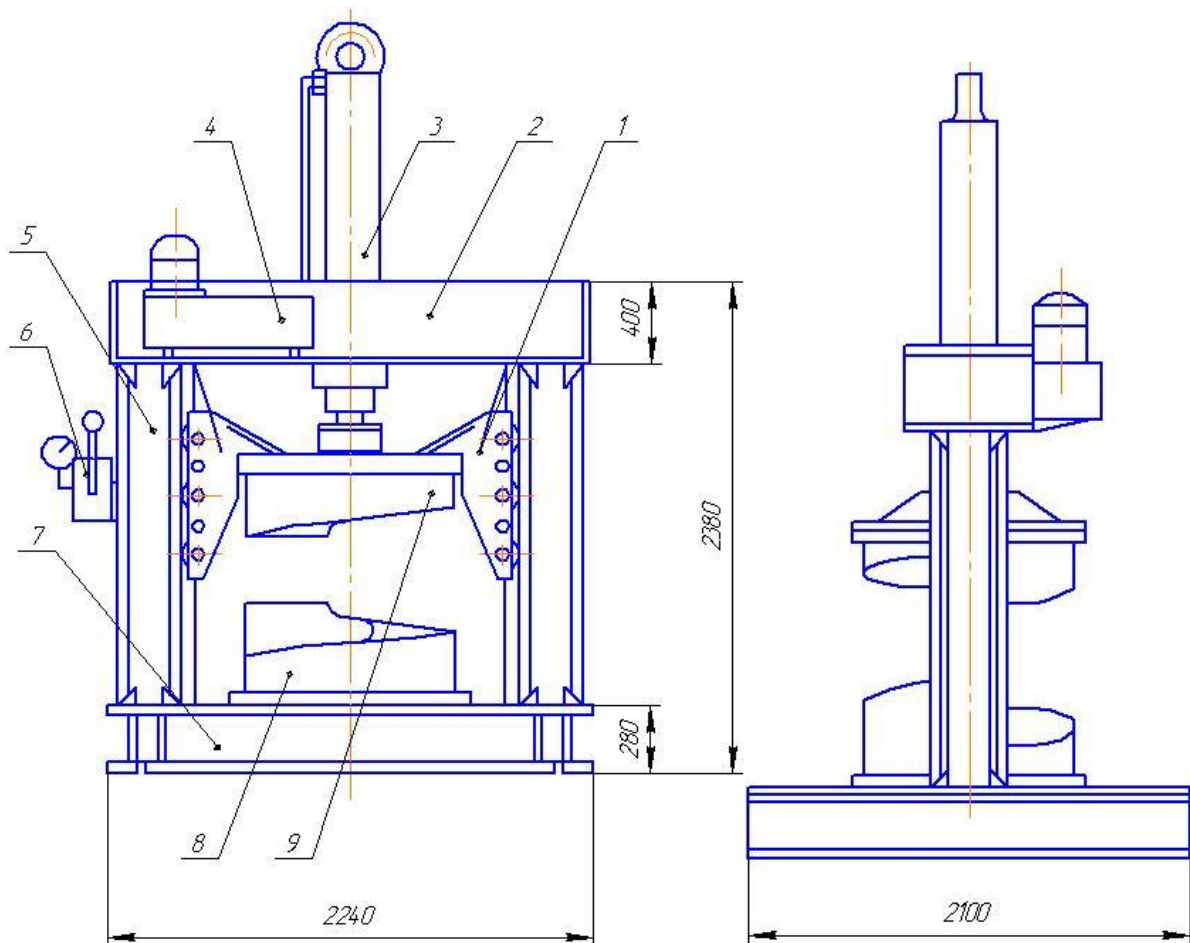


Рисунок 2.1 - Гідравлічний прес для виготовлення секційної гвинтової спіралі

1 - направляючі салазки; 2 - упорна балка; 3 - гідравлічний циліндр; 4 - насосна станція; 5 - направляючі стійки; 6 - блок керування; 7 - рама; 8 - матриця; 9 - пуансон; 10 - опорна плита, 11 – манометр

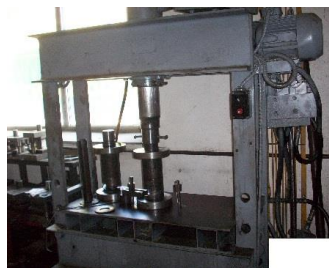


Рисунок 2.2 Загальний вигляд експериментального спорядження

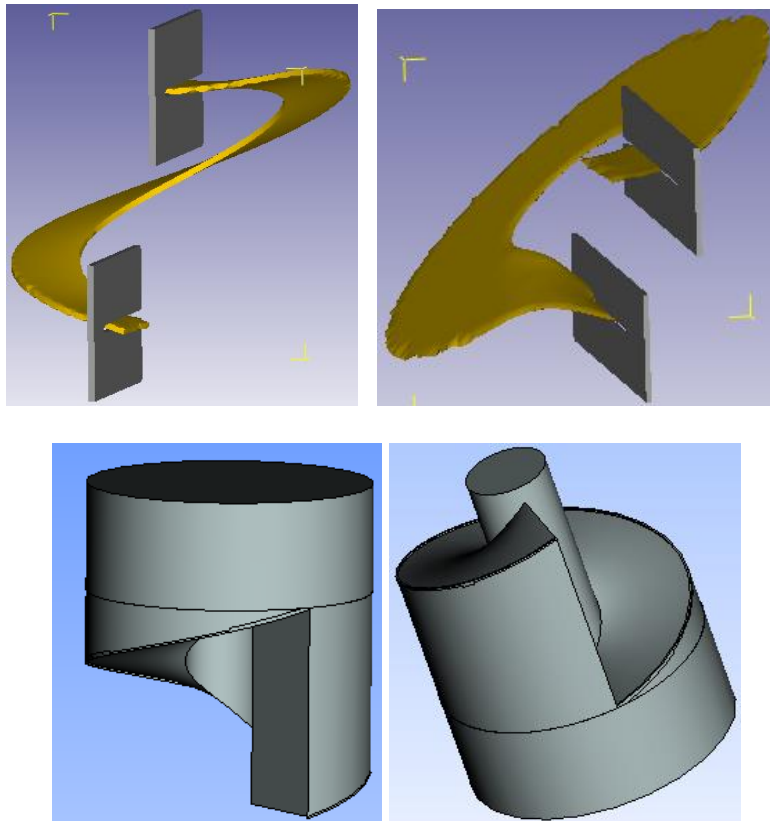


Рисунок 2.3 - Загальний вигляд отриманої секційної гвинтової спіралі ЖВМ 22.119 в результаті комп'ютерного моделювання процесу її отримання способом розтягування кінців секційної гвинтової спіралі ЖВМ 22.119 , а також комп'ютерні моделі пуансона та матриці

## 2.2 Відомі аналітичні залежності для розрахунку конструктивних параметрів секційних гвинтових спіралей

На даний час відомо велику кількість методів визначення конструктивних параметрів секційних гвинтових спіралей. Їх структурують на аналітичні, комп'ютерно-графічні та табличні [25]. Серед аналітичних у довідковій літературі найчастіше використовують класичний метод [14, 23, 25], звичайну та уточнену формули Вернікова [25], а також класичний метод розрахунку кільцевих секторних заготовок, виконаних у формі розрізних кілець.

На рисунку 2.4 показано секційну гвинтову спіраль, яка розміщена на опорному елементі та кільцева секторна заготовка, з якої отримують згадану гвинтову спіраль.

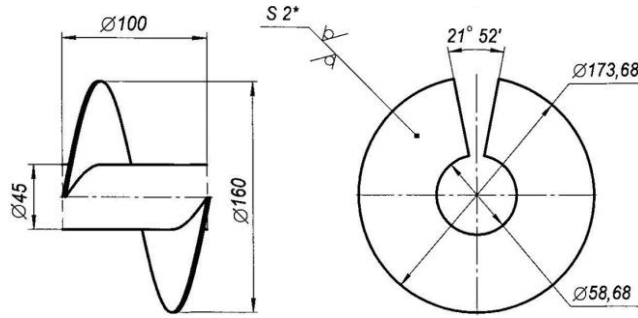


Рисунок 2.4 - Секційна гвинтова спіраль, яка розміщена на опорному елементі та кільцева секторна заготовка, з якої отримують згадану гвинтову спіраль

*Класичним метод*

Розміри кільцевих заготовок визначаються за такими залежностями [23]:

$$d_0 = \frac{(D-d)\sqrt{T^2 + (\pi d)^2}}{\sqrt{T^2 + (\pi D)^2} - \sqrt{T^2 + (\pi d)^2}}; \quad (2.1)$$

$$D_0 = d_0 + (D-d); \quad (2.2)$$

$$\beta = \frac{360 \left[ \pi d_0 - \sqrt{T^2 + (\pi d)^2} \right]}{\pi d_0}, \quad (2.3)$$

де  $\beta$  – кут вирізування кільцевої секторної заготовки заготовки.

*Звичайний метод Вернікова*

Параметри розгортки витка визначаються за формулами Вернікова [25]

$$d_0 = D(1-K_d) \left( \frac{\sqrt{\pi^2 + K_s^2}}{\sqrt{\pi^2 K_d^2 + K_s^2}} - 1 \right)^{-1}, \quad D_0 = D(1-K_d) \left( 1 - \frac{\sqrt{\pi^2 K_d^2 + K_s^2}}{\sqrt{\pi^2 + K_s^2}} \right)^{-1};$$

$$\beta = 360^\circ \left[ 1 - \frac{\sqrt{\pi^2 + K_s^2} - \sqrt{\pi^2 K_d^2 + K_s^2}}{\pi(1-K_d)} \right], \quad (2.4)$$

де  $K_d = d/D$  - відносний радіус кривини ГС;  $K_T = T/D$  - коефіцієнт кроку витка.

*Уточнений метод Вернікова*

У випадку формування спіралей зі значним кроком витка параметри КСЗ також можна визначити за уточненими формулами Вернікова [25]

$$d_0 = D(1-K_d) \left( \frac{\zeta}{\sqrt{\pi^2 K_d^2 + K_s^2}} - 1 \right)^{-1}, \quad D_0 = D(1-K_d) \left( 1 - \frac{\sqrt{\pi^2 K_d^2 + K_s^2}}{\zeta} \right)^{-1};$$

$$\beta = 360^{\circ} \left[ 1 - \frac{\zeta - \sqrt{\pi^2 K_d^2 + K_S^2}}{\pi(1 - K_d)} \right], \quad (2.5)$$

$$\text{де } \zeta = \frac{1}{1 - K_d} \left( \sqrt{\pi^2 + K_S^2} - \sqrt{\pi^2 K_d^2 + K_S^2} + \frac{K_S^2}{\pi} \ln \frac{\pi + \sqrt{\pi^2 + K_S^2}}{\pi K_d + \sqrt{\pi^2 K_d^2 + K_S^2}} \right).$$

Параметри кільцевої секторної заготовки у вигляді розрізного кільця розраховують в окремому порядку у такій послідовності.

Спочатку розраховують довжину ГС в осьовому напрямку, на якій кільцева секторна заготовка утворює гвинтову поверхню [25]:

$$H' = \frac{2\pi B}{1/\sin \alpha_D - 1/\sin \alpha_d}, \quad \alpha_D = \arctg \frac{T}{\pi \cdot D}; \quad \alpha_d = \arctg \frac{T}{\pi \cdot d}. \quad (2.6)$$

де  $\alpha_D$  і  $\alpha_d$  - кути підйому гвинтових ліній відповідно по периферії ГС і біля її внутрішньої крайки.

Потім розраховують довжини зовнішньої та внутрішньої крайок витків на основі яких визначають діаметральні параметри КСЗ

$$L' = H' / \sin \alpha_D; \quad l' = H' / \sin \alpha_d; \quad D_0 = L' / \pi; \quad d_0 = l' / \pi. \quad (2.7)$$

### **2.3 Результати експериментальних та теоретичних досліджень та їх обговорення**

Результати експериментальних та теоретичних досліджень технології виготовлення секційних гвинтових спіралей із кільцевих секторних заготовок способом формовки в штампі між гвинтовими поверхнями матриці і пуансона та способом розтягування за кінці заготовки відповідно до схем 1.2 а, б і є наведено на графіках 2.5-2.33.

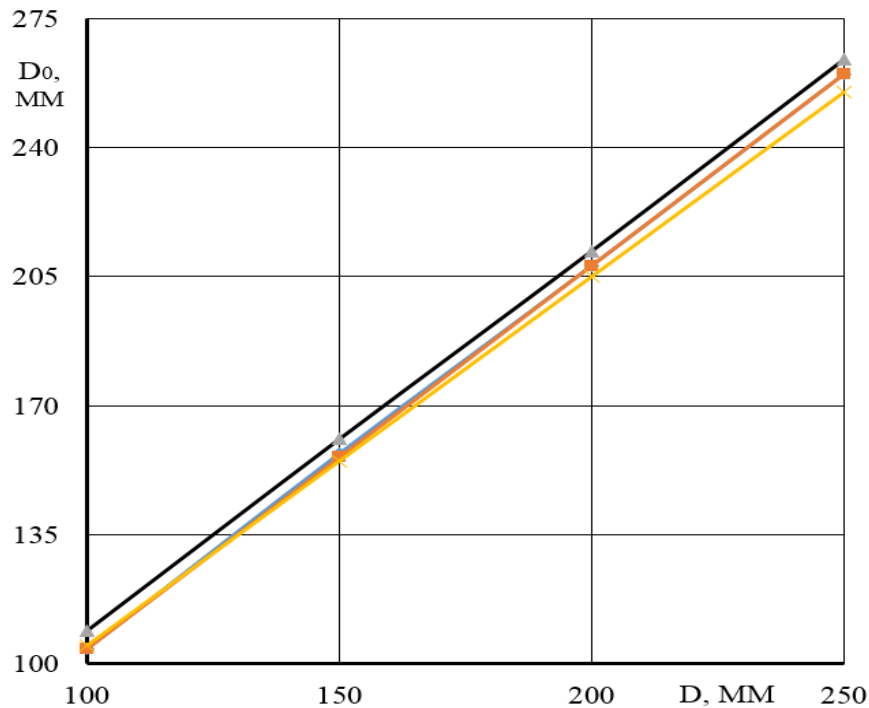


Рисунок 2.5 - Залежність зовнішнього діаметра кільцевої секторної заготовки від діаметра зовнішньої крайки витка ГС для  $D=100\text{мм}$ ,  $d=53$ ,  $T=55\text{мм}$ ,  $H=3\text{мм}$ ;  $D=150\text{мм}$ ,  $d=72\text{мм}$ ,  $T=80\text{мм}$ ,  $H=4\text{мм}$ ;  $D=200\text{мм}$ ,  $d=91\text{мм}$ ,  $T=100\text{мм}$ ,  $H=5\text{мм}$ ;  $D=250\text{мм}$ ,  $d=117\text{мм}$ ,  $T=125\text{мм}$ ,  $H=5\text{мм}$ ; ◆ - КСЗ у формі кільцевого сектора (розрахунковий дані); ■ - КСЗ у формі розрізної шайби (розрахункові дані); ▲ - КСЗ у формі кільцевого сектора (експериментальні дані); ✕ - КСЗ у формі розрізної шайби (експериментальні дані)

Із рисунку 2.5, 2.6 та 2.8 бачимо, що для ГС, що характеризуються коефіцієнтом кроку витка  $T/D < 2,5$  найбільша збіжність теоретичних та експериментальних даних стосовно діаметральних параметрів, що пов'язано з малою ступінню деформації початкової заготовки. Проте завищені теоретичні дані щодо кута вирізу (рис. 2.7). Зі збільшення ширини витка таке розходження зменшується.

На рис. 2.9 і 2.10 показано, що величина зменшення діаметру кільцевої секторної заготовки при формуванні ГС залежить від величина коефіцієнта кроку витка такої заготовки. При його постійному значенні для різних величин діаметральних параметрах зменшення діаметру є постійним.

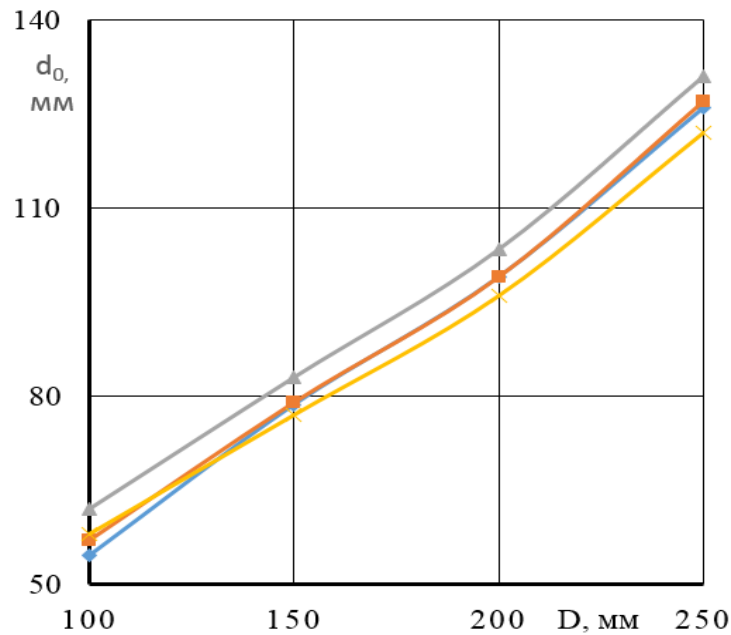


Рисунок 2.6 - Залежність внутрішнього діаметра кільцевої секторної заготовки від діаметра зовнішньої крайки витка ГС для  $D=100$ мм,  $d=53$ ,  $T=55$ мм,  $H=3$ мм;  $D=150$ мм,  $d=72$ мм,  $T=80$ мм,  $H=4$ мм;  $D=200$ мм,  $d=91$ мм,  $T=100$ мм,  $H=5$ мм;  $D=250$ мм,  $d=117$ мм,  $T=125$ мм,  $H=5$ мм;  $\blacklozenge$  - КСЗ у формі кільцевого сектора (розрахунковий дані);  $\blacksquare$  - КСЗ у формі розрізної шайби (розрахункові дані);  $\blacktriangle$  - КСЗ у формі кільцевого сектора (експериментальні дані);  $\blackcross$  - КСЗ у формі розрізної шайби (експериментальні дані)

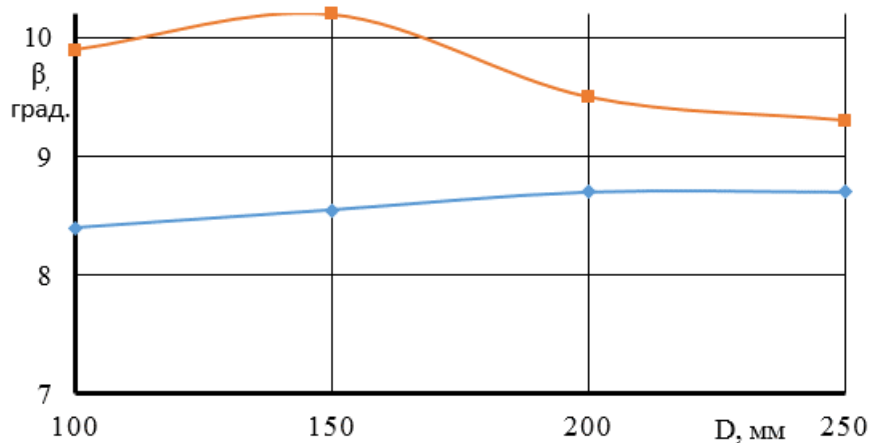


Рисунок 2.7 - Залежність величини центрального кута вирізу кільцевої секторної заготовки від діаметра зовнішньої крайки витка ГС для  $D=100$ мм,  $d=53$ ,  $T=55$ мм,  $H=3$ мм;  $D=150$ мм,  $d=72$ мм,  $T=80$ мм,  $H=4$ мм;  $D=200$ мм,  $d=91$ мм,  $T=100$ мм,  $H=5$ мм;  $D=250$ мм,  $d=117$ мм,  $T=125$ мм,  $H=5$ мм;  $\blacklozenge$  - КСЗ у формі кільцевого сектора (експериментальні дані);  $\blacksquare$  - КСЗ у формі кільцевого сектора (розрахункові дані)

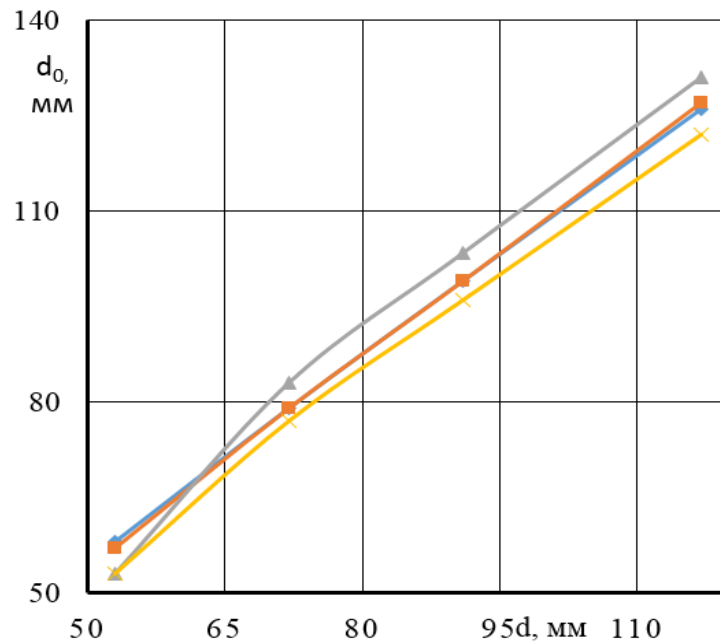


Рисунок 2.8 - Залежність внутрішнього діаметра кільцевої секторної заготовки від діаметра внутрішньої крайки витка ГС: ◆ - КСЗ у формі кільцевого сектора (розрахунковий дані); ■ - КСЗ у формі розрізної шайби (розрахункові дані); ▲ - КСЗ у формі кільцевого сектора (експериментальні дані); ✕ - КСЗ у формі розрізної шайби (експериментальні дані)

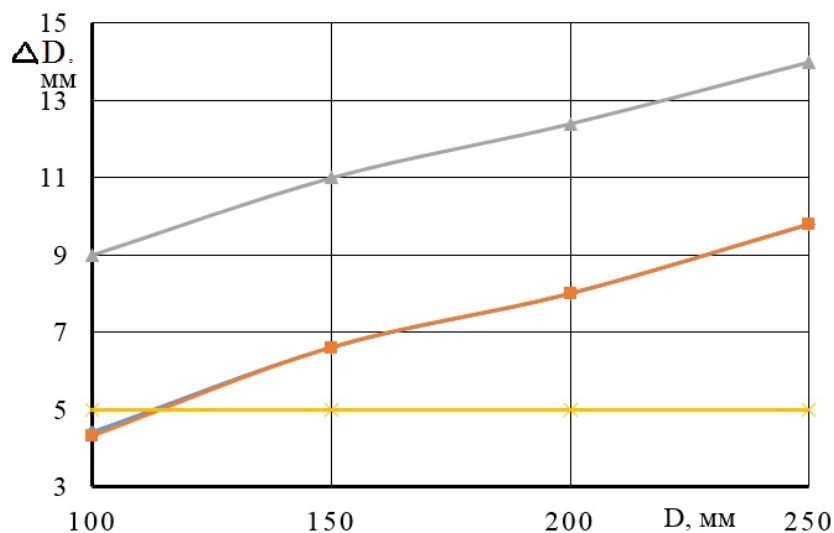


Рисунок 2.9 - Залежність величини зменшення діаметру кільцевої секторної заготовки при деформуванні ГС для  $D=100\text{мм}$ ,  $d=53$ ,  $T=55\text{мм}$ ,  $H=3\text{мм}$ ;  $D=150\text{мм}$ ,  $d=72\text{мм}$ ,  $T=80\text{мм}$ ,  $H=4\text{мм}$ ;  $D=200\text{мм}$ ,  $d=91\text{мм}$ ,  $T=100\text{мм}$ ,  $H=5\text{мм}$ ;  $D=250\text{мм}$ ,  $d=117\text{мм}$ ,  $T=125\text{мм}$ ,  $H=5\text{мм}$ ; ◆ - КСЗ у формі кільцевого сектора (розрахунковий дані); ■ - КСЗ у формі розрізної шайби (розрахункові дані); ▲ - КСЗ у формі кільцевого сектора (експериментальні дані); ✕ КСЗ у формі розрізної шайби (експериментальні дані)



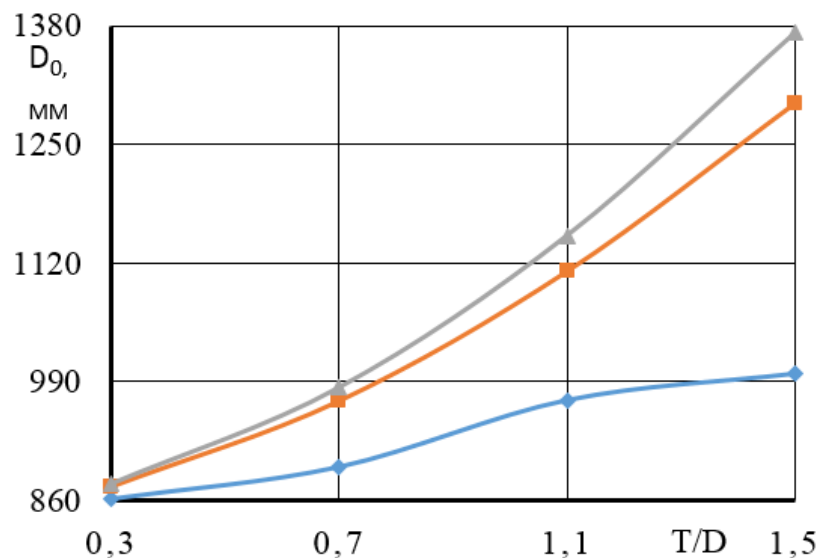


Рисунок 2.10 - Залежність зовнішнього діаметра кільцевої секторної заготовки від коефіцієнта кроку витка при  $D=850\text{мм}$ ,  $d=150\text{мм}$ ,  $B=700\text{мм}$ ,  $H=5\text{мм}$ ; —◆— ГС після деформації; —■— діаметр КСЗ за відомою формулою; —▲— діаметр КСЗ згідно уточненої формули Вернікова

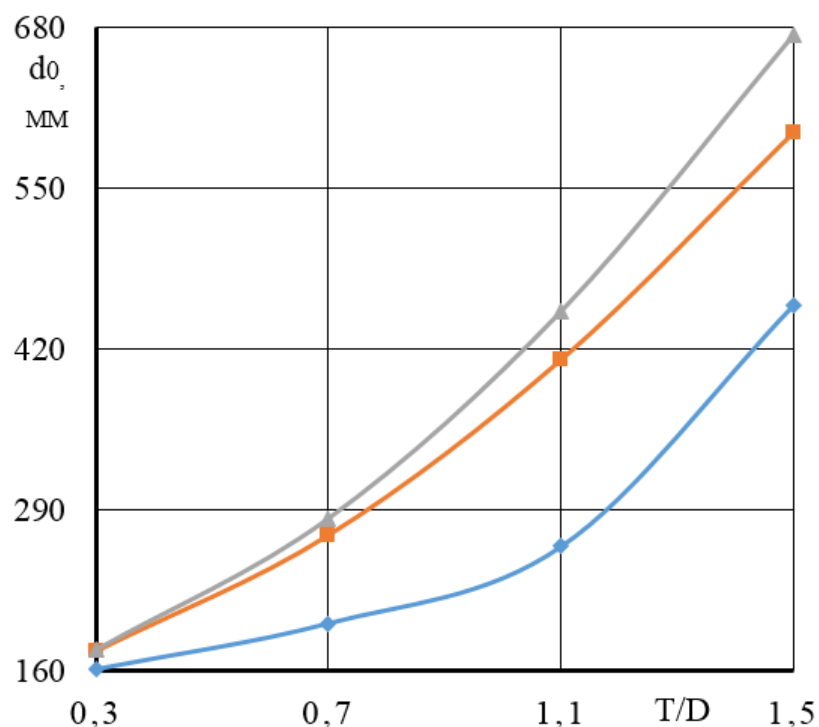


Рисунок 2.11 - Залежність внутрішнього діаметра кільцевої секторної заготовки від коефіцієнта кроку витка при  $D=850\text{мм}$ ,  $d=150\text{мм}$ ,  $B=700\text{мм}$ ,  $H=5\text{мм}$ ; —◆— теоретичні дані; —■— експериментальні дані; —▲— формула Вернікова (звичайна)

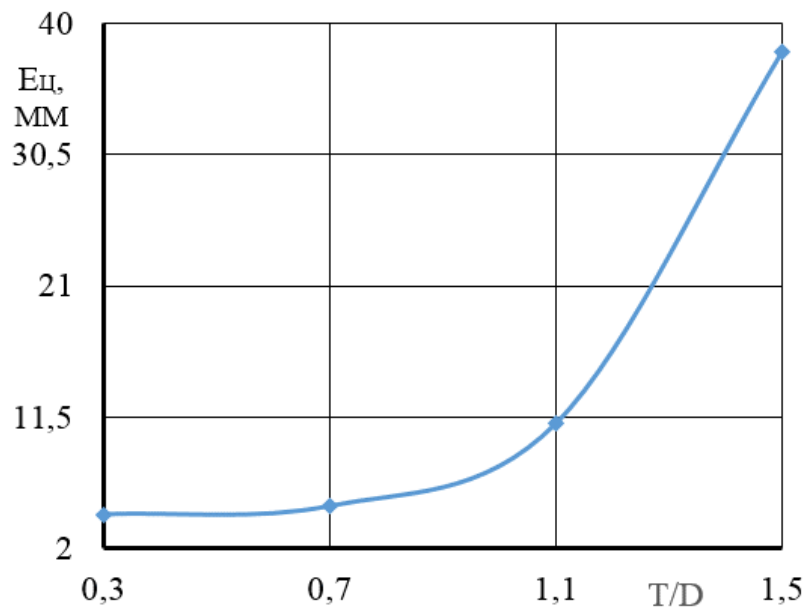


Рисунок 2.12 - Залежність зміщення центрів зовнішньої та внутрішньої крайок витків ГС після їх формування з КСЗ при  $D=650\text{мм}$ ,  $d=150\text{мм}$ ,  $B=250\text{мм}$ ,  $H=5\text{мм}$

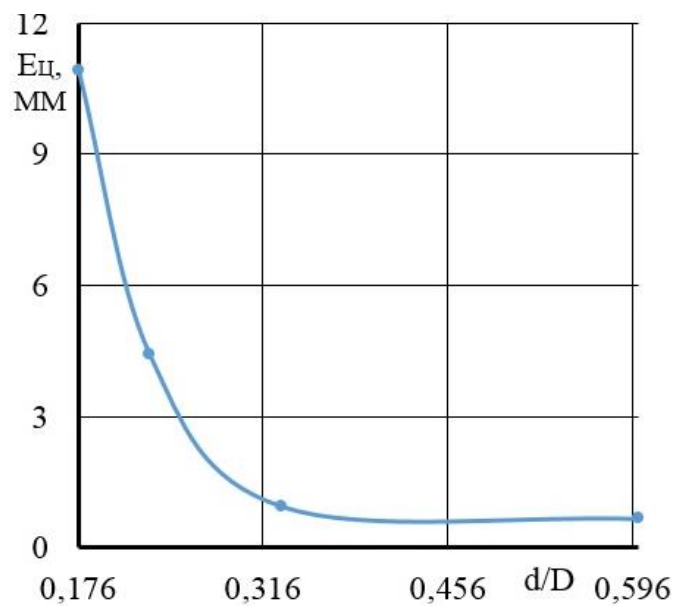


Рисунок 2.13 - Залежність зміщення центрів зовнішньої та внутрішньої крайок витків ГС після їх формування з КСЗ при  $T/D = 0,3$  для інтервалу  $T=(75-255)\text{мм}$ ,  $d=150\text{мм}$ ,  $H=5\text{мм}$

Проводились дослідження залежності зовнішнього діаметра кільцевої секторної заготовки від коефіцієнта кроку витка та коефіцієнта  $d/D$  для різних діаметрів і ширини витка (рис. 2.13-2.15). Із них бачимо для отримання секційних ГС із малим кроком витків ( $T/D < 0,5$ ) спостерігається збіжність експериментальних та розрахункових даних щодо геометричних параметрів кільцевих секторних заготовок.

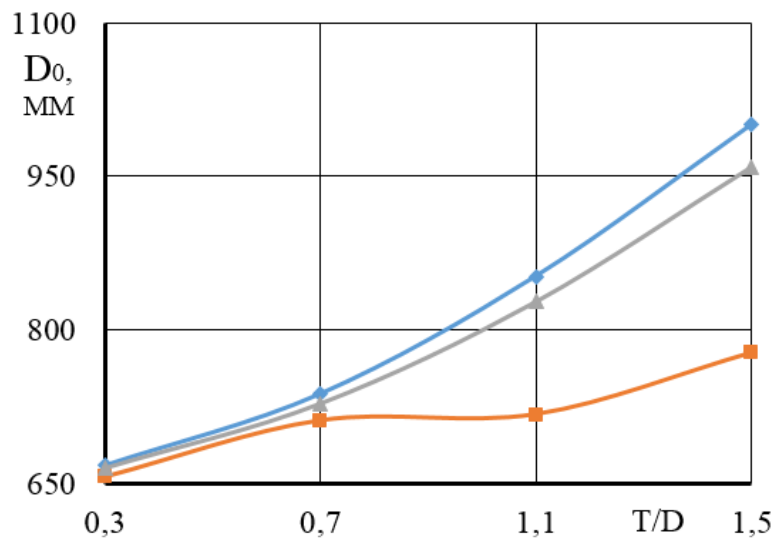


Рисунок 2.14 - Залежність зовнішнього діаметра кільцевої секторної заготовки від коефіцієнта кроку витка при  $D=650\text{мм}$ ,  $V=250\text{мм}$ ,  $H=5\text{мм}$ ,  $d=150\text{мм}$ ; ◆ діаметр КСЗ згідно уточненої формули Вернікова; ■ експериментальні дані; ▲ теоретичні дані

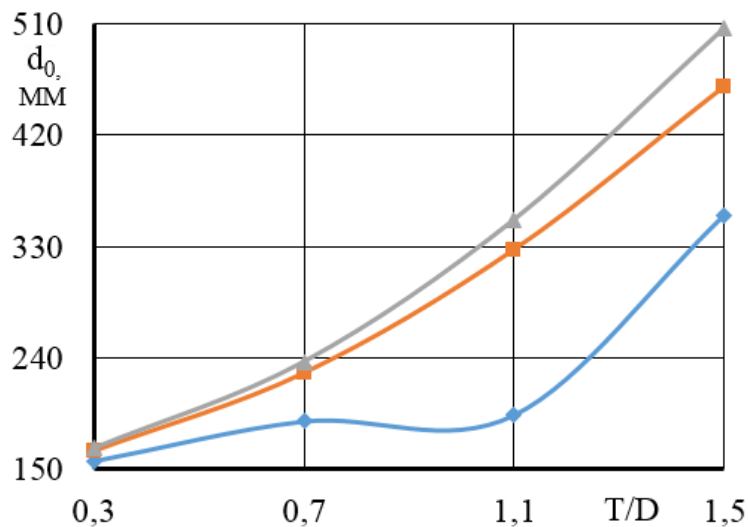


Рисунок 2.15 - Залежність внутрішнього діаметра кільцевої секторної заготовки від коефіцієнта кроку витка при  $D=650\text{мм}$ ,  $d=150\text{мм}$ ,  $H=5\text{мм}$ ,  $V=250\text{мм}$ , ◆ внутрішній діаметр ГС; ■ формула Вернікова (звичайна); ▲ згідно уточненої формули Вернікова

У сформованій ГС центри радіусів кривини її зовнішньої та внутрішньої крайок витків її не співпадають. Проекція таких крайок на площину, що перпендикулярна до поздовжньої осі такої заготовки являє собою еліпс.

Параметри ексцентриситету такого еліпсу залежать від способу формоутворення ГС. Для зменшення таких відхилень авторами роботи [5] запропоновано виконувати кільцеву секторну заготовку, зовнішня та внутрішня крайки якої являють собою еліпси. Такий підхід вимагає певної однозначної чітко визначеної орієнтації оброблюваної заготовки в технологічному пристосуванні.

Задовільне співпадання теоретичних даних та експериментальних бачимо стосовно величини кута вирізу (рис. 2.16).

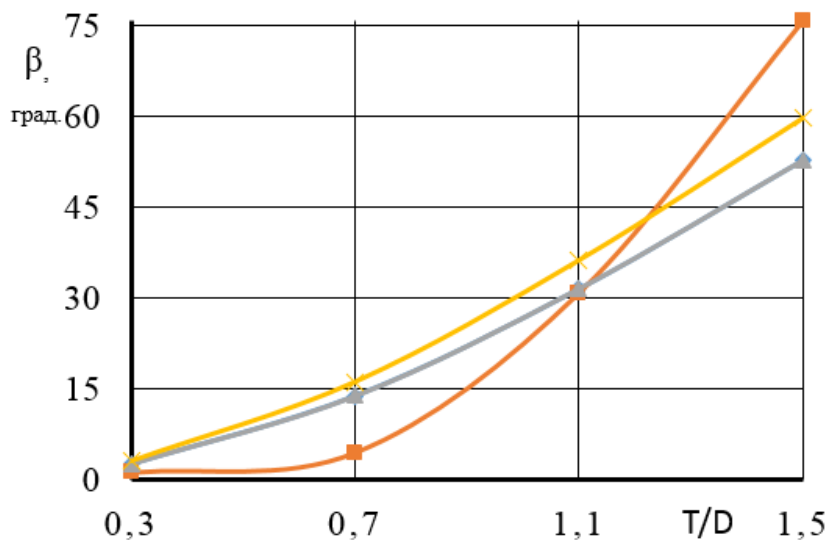


Рисунок 2.16 - Залежність величини кута вирізу КСЗ від коефіцієнта кроку витка

◆ теоретичні дані; ■ експериментальні дані; ▲ формула Вернікова (звичайна); ✕ згідно уточненої формули Вернікова

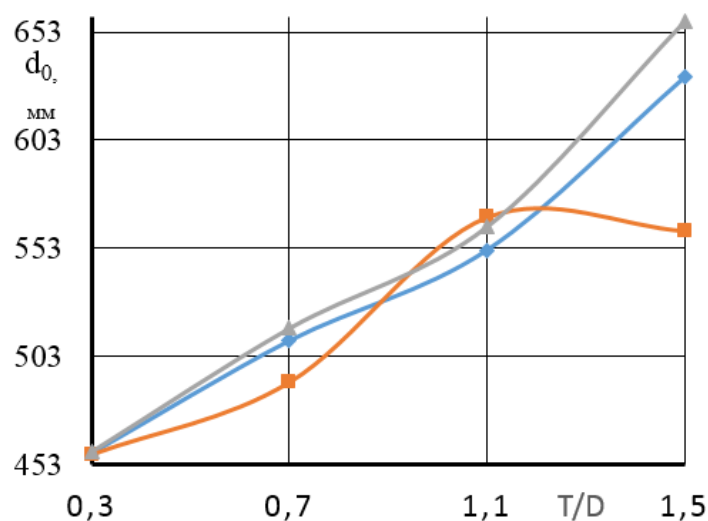


Рисунок 2.17 - Залежність внутрішнього діаметра кільцевої секторної заготовки

від коефіцієнта кроку витка при  $D=450\text{мм}$ ,  $d=150\text{мм}$ ,  $B=150\text{мм}$ , ◆ теоретичні дані; ■ експериментальні дані; ▲ згідно уточненої формули Вернікова

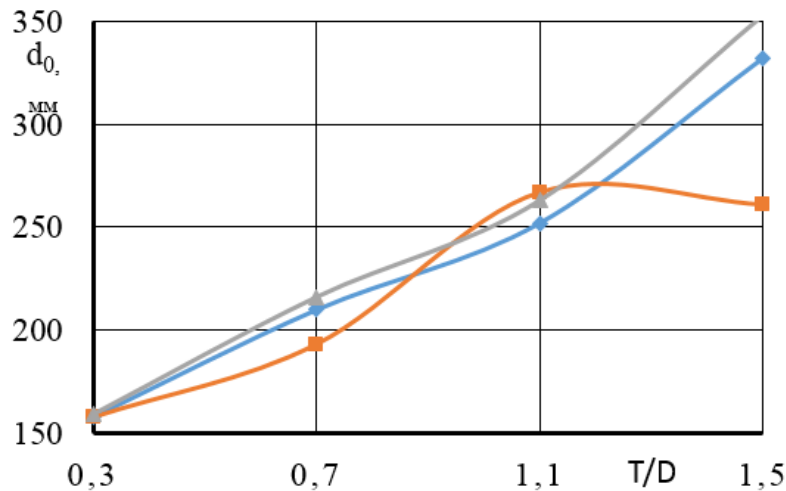


Рисунок 2.18 - Залежність внутрішнього діаметра кільцевої секторної заготовки від коефіцієнта кроку витка при  $D=450\text{мм}$ ,  $d=150\text{мм}$ ,  $B=150\text{мм}$ ,  $\blacklozenge$  теоретичні дані;  $\blacksquare$  експериментальні дані;  $\blacktriangle$  згідно уточненої формули Вернікова

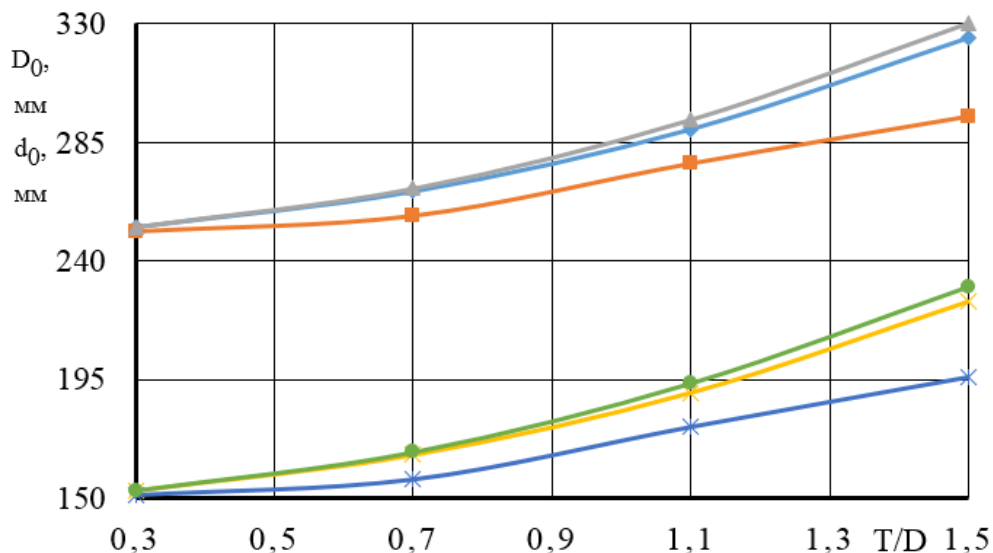


Рисунок 2.19 - Залежність зовнішнього і внутрішнього діаметрів КСЗ від коефіцієнта кроку витка при  $D=250\text{мм}$ ,  $B=50\text{мм}$  і  $d=150\text{мм}$ :  $\blacklozenge$  зовнішній діаметр (теоретичні дані) базова формула;  $\blacksquare$  зовнішній діаметр (експериментальні дані);  $\blacktriangle$  зовнішній діаметр згідно уточненої формули Вернікова;  $\blacktimes$  внутрішній діаметр (теоретичні дані) базова формула;  $\blackstar$  внутрішній діаметр (експериментальні дані) базова формула

Порівняння експериментальних даних з результатами комп'ютерного моделювання процесу формування ГС з кільцевих секторних заготовок показує

наявність розбіжностей в межах до 12-16%. Тому при проектуванні такого ТП для отримання широковиткових ГС зі значенням коефіцієнта кроку витка понад 0,6 од. необхідно здійснювати попереднє комп'ютерне моделювання такого процесу.

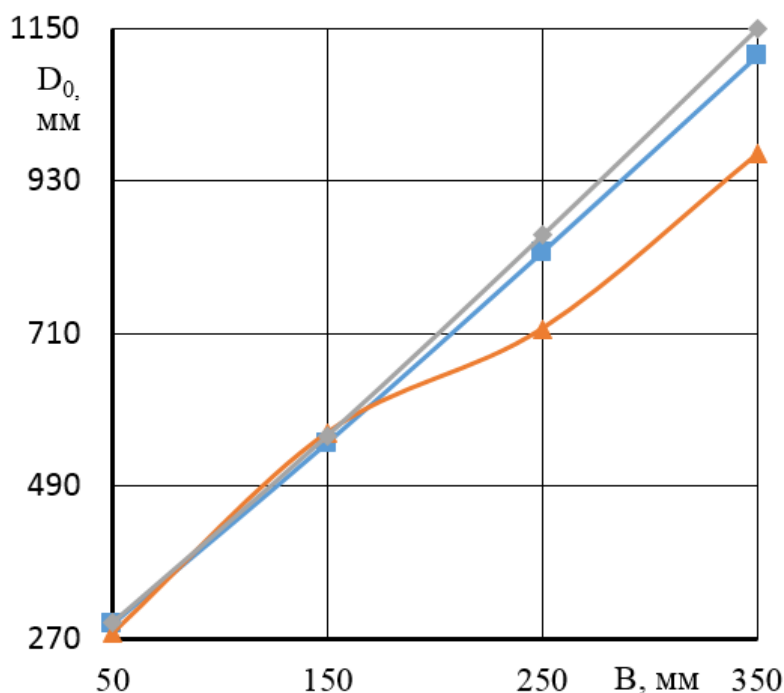


Рисунок 2.20 - Залежність зовнішнього діаметра КСЗ від ширини витка ГС при  $T/D=1,1$ , ■ теоретичні дані; ▲ експериментальні дані; ◆ згідно уточненої формули Вернікова

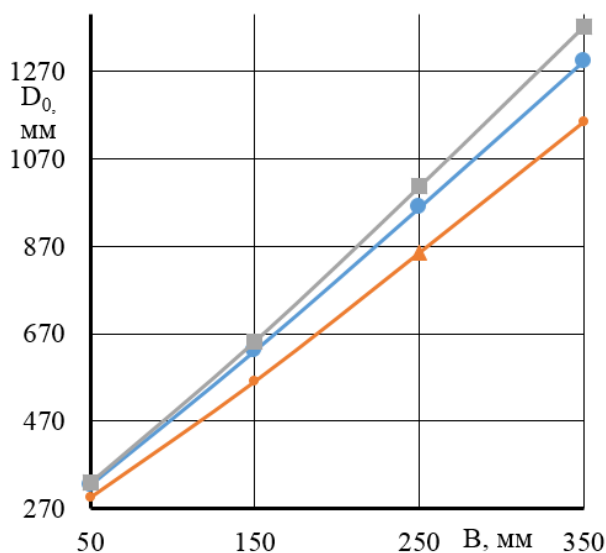


Рисунок 2.21 - Залежність зовнішнього діаметра КСЗ від ширини витка ГС при  $T/D=1,5$ ; ● теоретичні дані; ● експериментальні дані; ■ згідно уточненої формули Вернікова

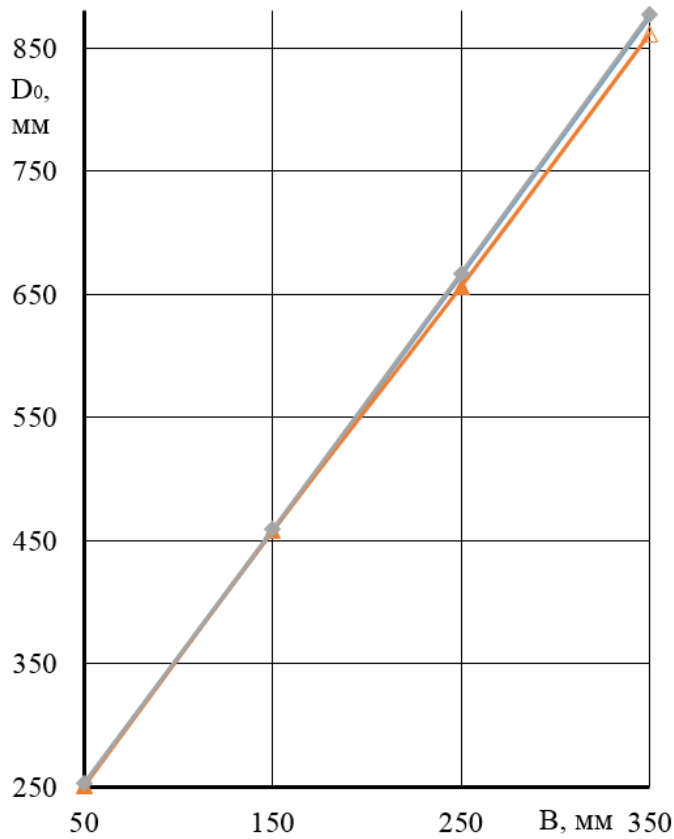


Рисунок 2.22 - Залежність зовнішнього діаметра КСЗ від ширини витка ГС при  $T/D=0,3$ ; —●— (теоретичні дані); —▲— (експериментальні дані); —◆— згідно уточненої формули Вернікова

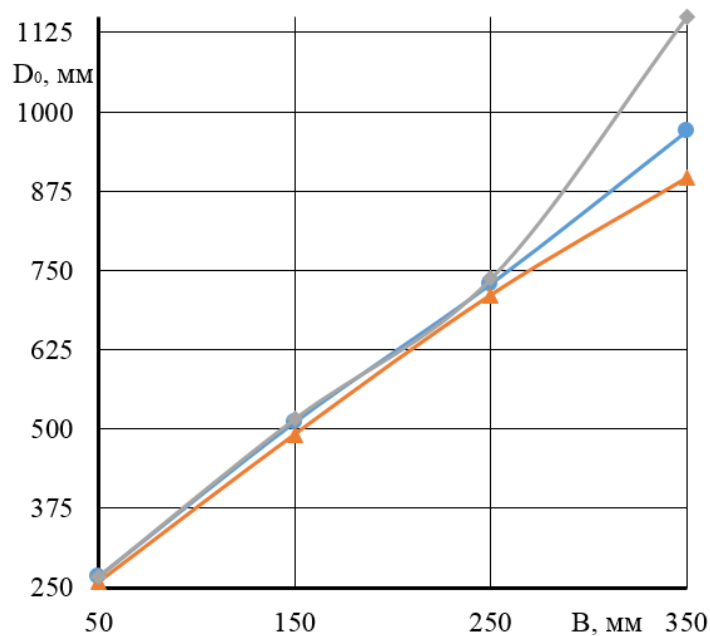


Рисунок 2.23 - Залежність зовнішнього діаметра КСЗ від ширини витка ГС при  $T/D=0,7$ , —●— (теоретичні дані); —▲— (експериментальні дані); —◆— згідно уточненої формули Вернікова

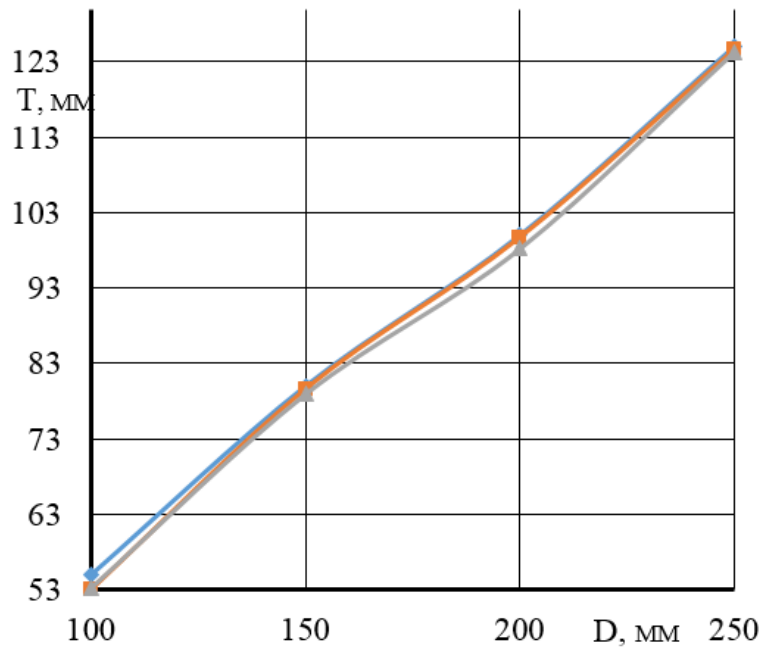


Рисунок 2.24 - Залежність кроку ГС від діаметра ГС, отриманої з КЗ у формі розрізної шайби, ◆ крок гвинтових поверхонь пунсона і матриці; ■ крок ГС після комп'ютерного моделювання; ▲ крок ГС отриманої КЗ форми кільцевого сектора

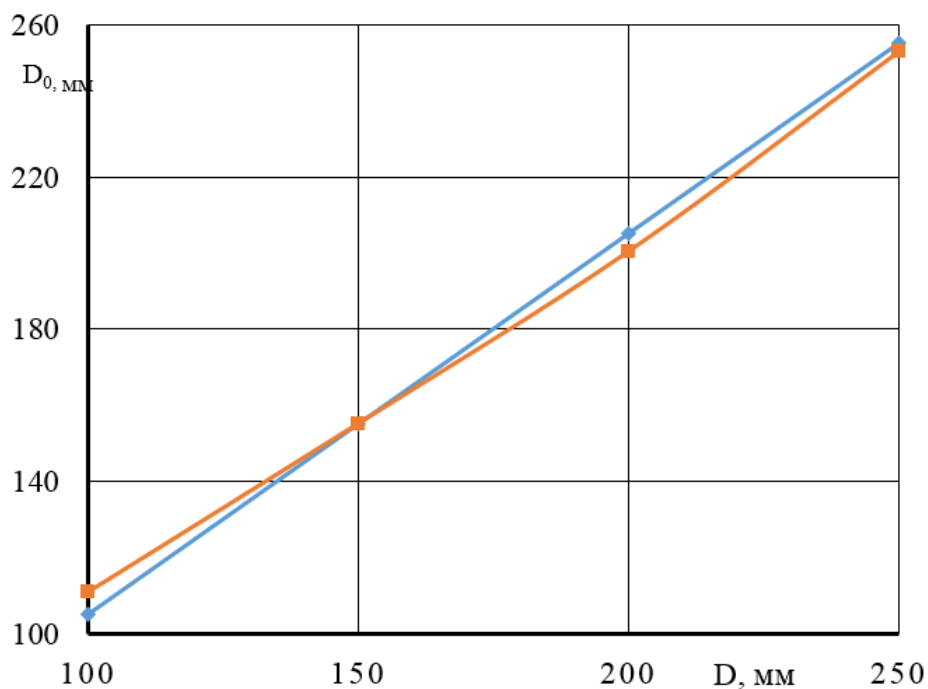


Рисунок 2.25 - Залежність зовнішнього діаметра КЗ у вигляді розрізної шайби від діаметра зовнішньої крайки витка для  $T/D=0,5-0,55$ ;  $D/d=1,88-2,19$ ; ◆ діаметр розгортки витка; ■ діаметр заготовки за результатами комп'ютерного моделювання



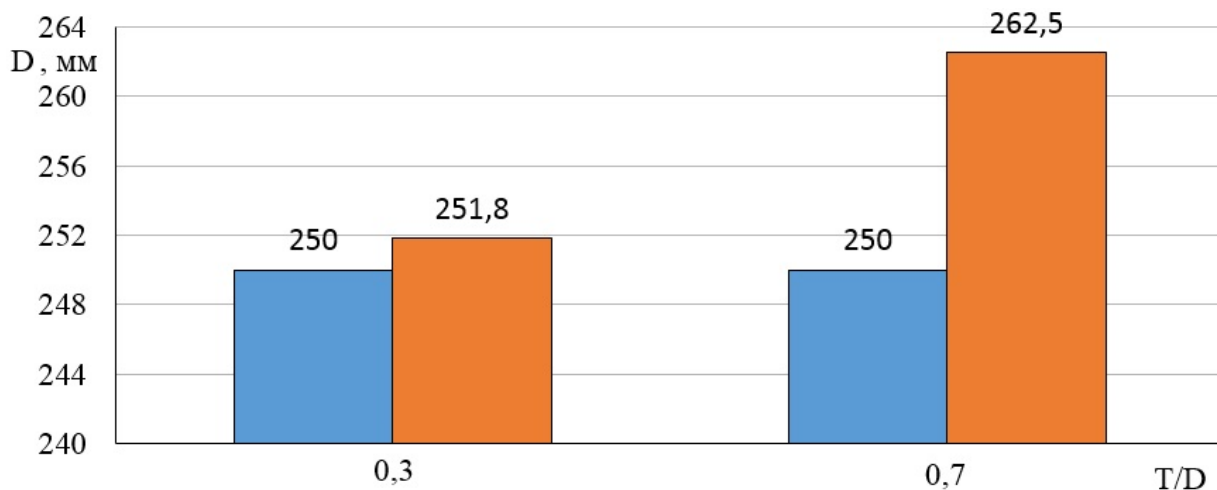


Рисунок 2.26 - Значення діаметрів КСЗ, з яких отримають ГС способом розтягування кінців на крок: ■ діаметр ГС (необхідне номінальне значення); ■ діаметр ГС (після пружинення), отриманої в результаті комп'ютерного моделювання

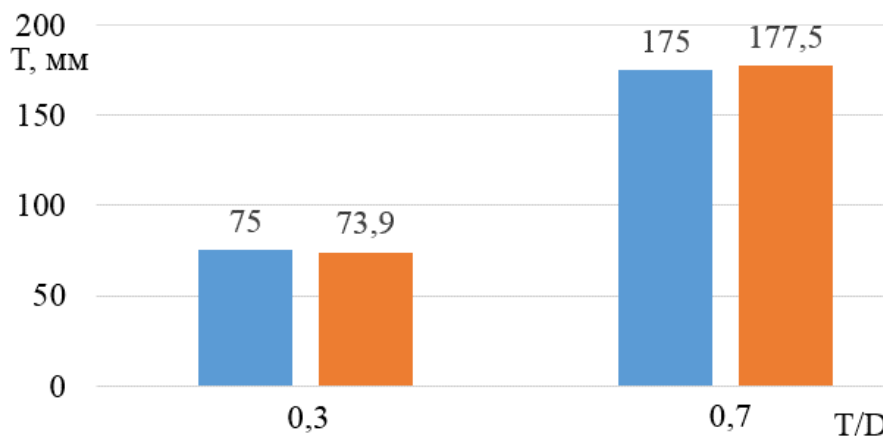


Рисунок 2.27 - Залежність кроку ГС від коефіцієнта кроку витка для операції отримання згаданої заготовки способом розтягування кінців КСЗ на крок необхідний крок ГС; ■ крок ГС, отриманої способом комп'ютерного моделювання (після пружинення)

Із графіків 2.25 і 2.26 бачимо, що експериментальні значення діаметрів КСЗ для варіантів її виконання у формі розрізної шайби та у формі кільцевого сектора відрізняються для одного і того ж розміру гвинтової спіралі. У той час як згідно відомих аналітичних залежностей (формули 2.6-2.7) такі діаметри однакові для вибраного розміру гвинтової спіралі. Таким чином існує необхідність в уточненні

аналітичних залежностей для розрахунку конструктивних параметрів кільцевих секторних заготовок.

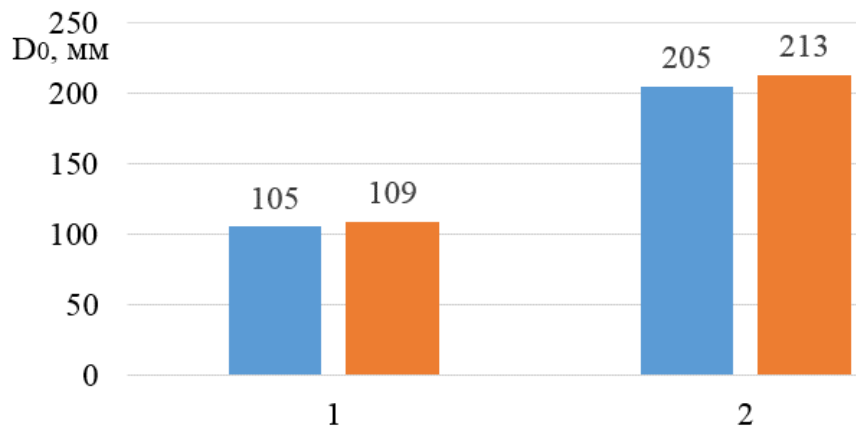


Рисунок 2.28 - Експериментальні значення зовнішнього діаметра КСЗ для різних варіантів її виконання: ■ - у формі розрізної шайби, ■ - у формі кільцевого сектора для виготовлення ГС з параметрами: 1 -  $D=100\text{мм}$ ,  $d=53\text{мм}$ ,  $T=55\text{мм}$ ; 2 -  $D=200\text{мм}$ ,  $d=91\text{мм}$ ,  $T=100\text{мм}$

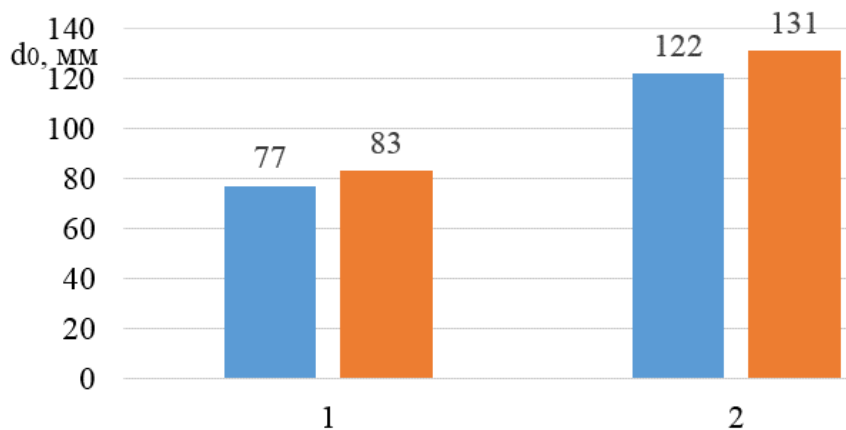


Рисунок 2.29 - Експериментальні значення внутрішнього діаметра КСЗ для різних варіантів її виконання ■ - у формі розрізної шайби, ■ - у формі кільцевого сектора для виготовлення ГС з параметрами: 1 -  $D=150\text{мм}$ ,  $d=72\text{мм}$ ,  $T=83\text{мм}$ ; 2 -  $D=250\text{мм}$ ,  $d=117\text{мм}$ ,  $T=125\text{мм}$

## 2.4 Висновки до розділу

1. Виявлено значне розходження розрахункових даних, отриманих за різними методиками розрахунку конструктивних параметрів кільцевих секторних заготовок з яких отримують секційні гвинтові заготовки. діапазон розходження даних досягає 18%. Таке розходження компенсується значними допусками на отримання таких заготовок за діючими стандартами.

2. Виявлено, що з кільцевих секторних заготовок одного типорозміру за різними технологічними способами отримують секційні гвинтові заготовки з різними геометричними параметрами. Це пов'язано з особливостями пластичної деформації згаданих деталей.

3. Для отримання секційних гвинтових спіралей із малим кроком витків ( $T/D < 0,5$ ) спостерігається збіжність експериментальних та розрахункових даних щодо геометричних параметрів кільцевих секторних заготовок.

4. При використанні способу розтягування кільцевої секторної заготовки за її кінці похибку в геометричні параметри має деформації в місцях закріплення.

5. При формоутворення секційної гвинтової спіралі різними технологічними методами має місце неспівпадання центрів радіусів кривини огинаючих циліндрів зовнішньої та внутрішньої крайок витка. Це спричинено різною ступінню деформації витка за його довжиною. Тому для підвищення точності виконання секційної гвинтової спіралі деформації кільцевої секторної заготовки необхідно здійснювати в декілька етапів у кожному з яких необхідно відводити інструмент в початкове положення та здійснювати повертання оброблюваної заготовки.

6. Найбільшу точність розмірів забезпечує спосіб отримання секційної гвинтової спіралі при інкрементальному формуванні такої заготовки з поступовим переміщенням інструментів за довжиною витка. Такий спосіб особливо виправданий у випадку формування витків із незначною їх стійкістю через значну їх ширину.

7. Виконання розгорток витків секційної гвинтової спіралі на основі модулів побудови розгорток гвинтових поверхонь у різних програмних продуктах співпадає з класичними методиками розрахунку таких початкових заготовок. Однак при значних значеннях кроку витків має місце розходження експериментальних та розрахункових даних.

8. При формоутворення секційної гвинтової спіралі необхідно враховувати пружинення отриманої заготовки, внаслідок якого виникають похибки діаметральних розмірів та кроку витка такої заготовки.

9. Експериментальні значення діаметрів кільцевих секторних заготовок для варіантів її виконання у формі розрізної шайби та у формі кільцевого сектора відрізняються для одного і того ж розміру секційної гвинтової спіралі. У той час як згідно відомих аналітичних залежностей (формули 2.6-2.7) такі діаметри однакові для вибраного розміру секційної гвинтової спіралі.

10. Порівняння експериментальних даних з результатами комп'ютерного моделювання процесу формування секційної гвинтової спіралі з кільцевих секторних заготовок показує наявність розбіжностей в межах до 12-16%. Тому при проектуванні такого ТП для отримання широковиткових спіралей зі значенням коефіцієнта кроку витка понад 0,6 од. необхідно здійснювати попереднє комп'ютерне моделювання такого процесу.

### 3 ТЕХНОЛОГІЧНО-КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

#### 2.1. Формалізований опис структури спроектованого ТП виготовлення секційної гвинтової спіралі ЖВМ 22.119

На основі використання методики уніфікаційного синтезу [8, 13, 26] виконано формалізований опис структури спроектованого ТП виготовлення секційної гвинтової спіралі ЖВМ 22.119 (рис. 3.1) та розроблена схема узагальненого технологічного маршруту, яка представлена на кресленнях.

Таблиця 3.1 - Структура ТП виготовлення секційної гвинтової спіралі

Позн. елемента	Зміст елемента	X та Y елементи СФ
$A1_i^0 1_0$	<b>Заготовка переміщається</b>	$X(A1_i^0 1_0)$
$B1_i^1 A1_i^0$	КМ-10-22,5	$X(B1_i^1 A1_i^0)$
$O2_i^1 A_i^0$	Матеріал (заготовка) транспортується на робоче місце	$X(O2_i^1 A_i^0) Y(ZO_i^0 1_0)$
$Z2_i^0 1_0 \equiv \equiv Z2_i^0 1_0$	Заготовка доправлена на робоче місце Заготовка – Лист $10 \times 1400 \times 6000$	$X(Z2_i^0 1_0) Y(O2_i^1 A1_i^0)$
$A20_i^0 1_0$	Розділення заготовки	$X(A20_i^0 1_0) Y(Z2_i^0 1_0)$
$B1_i^2 A20_i^0$	Газорізка	$X(B1_i^2 A20_i^0)$
$O2_i^2 A20_i^0$	Перевірка по бірці марки сталі, товщини листа	$X(O2_i^2 A20_i^0) Y(T5_i^2 A20_i^0)$
$O3_i^2 A20_i^0$	Розрізування листа пополюні в розмір $3000 \pm 2 \times 1400$	$X(O3_i^2 A20_i^0) Y(B1_i^2 A20_i^0, T5_i^2 A20_i^0, T6_i^2 A20_i^0)$
$O4_i^2 A20_i^0$	Перевірка розміру $3000 \pm 2$ (в % від партії)	$X(O4_i^2 A20_i^0) Y(T5_i^2 A20_i^0)$
$T5_i^2 A20_i^0$	Рулетка ОПК 2-5АНТ/1 ГОСТ 7502-80	$X(T5_i^2 A20_i^0)$
$T6_i^2 A20_i^0$	Распиратор «Сніжок-П» ТУ 84-1013-84	$X(T6_i^2 A20_i^0)$
$Z21_i^0 1_0$	Вирізна заготовка розміром $3000 \pm 2 \times 1400$	$X(Z21_i^0 1_0) Y(20_i^0 1_0)$
$A40_i^0 1_0$	<b>Розкрюювання листової заготовки</b>	$X(A40_i^0 1_0) Y(Z21_i^0 1_0)$

Продовження таблиці 3.1

Позн. елем.	Зміст елемента	X та Y елементи СФ
$B1_i^3 A40_i^0$	ScTR 25/3150	$X(B1_i^3 A40_i^0)$
$O2_i^3 A40_i^0$	Розрізування листа в розмір $700_{.2} \times 1400$	$X(O2_i^3 A40_i^0) Y(B1_i^3 A40_i^0, T4_i^3 A40_i^0, T5_i^3 A10_i^0, T6_i^3 A40_i^0)$
$O3_i^3 A40_i^0$	Перевірка розміру $700_{.2}$ в 2% від партії	$X(O3_i^3 A40_i^0) Y(T4_i^3 A40_i^0)$
$T4_i^3 A40_i^0$	Лінійка 1000 ГОСТ 427-80	$X(T4_i^3 A40_i^0)$
$T5_i^3 A40_i^0$	Навушники ВЦНИИОТ-4А Т1400-28-127-76	$X(T5_i^3 A40_i^0)$
$T6_i^3 A40_i^0 = T6_i^2 A20_i^0$	Распиратор «Сніжок-П» ТУ 84-1013-84	$X(T6_i^3 A40_i^0)$
$Z41_i^0 1_0$	Вирізна заготовка розміром $700_{.2} \times 1400$	$X(Z41_i^0 1_0) Y(A40_i^0 1_0)$
$A60_i^0 1_0$	<b>Розкроювання листової заготовки</b>	$X(A60_i^0 1_0) Y(Z41_i^0 1_0)$
$B1_i^4 A60_i^0$	ScTR 25/3150	$X(B1_i^4 A60_i^0)$
$O2_i^4 A60_i^0$	Розрізування полоси в розмір $700_{.2} \times 700^*$ (* - розмір для довідок)	$X(O2_i^4 A60_i^0) Y(B1_i^4 A60_i^0, T4_i^4 A60_i^0, T5_i^4 A60_i^0, T6_i^4 A60_i^0)$
$O3_i^4 A60_i^0$	Перевірка розміру $700_{.2}$ в 2% від партії	$X(O3_i^4 A60_i^0) Y(T4_i^4 A60_i^0)$
$T4_i^4 A60_i^0 = T4_i^3 A60_i^0$	Лінійка 1000 ГОСТ 427-80	$X(T4_i^4 A60_i^0)$
$T5_i^4 A60_i^0 = T5_i^3 A10_i^0$	Навушники ВЦНИИОТ-4А Т1400-28-127-76	$X(T5_i^4 A60_i^0)$
$T6_i^4 A60_i^0 = T6_i^3 A40_i^0$	Распиратор «Сніжок-П» ТУ 84-1013-84	$X(T6_i^4 A60_i^0)$
$Z61_i^0 1_0$	Вирізна заготовка розміром $700_{.2} \times 700$	$X(Z61_i^0 1_0) Y(A60_i^0 1_0)$
$A62_i^0 1_0$	Заготовка переміщається	$X(A62_i^0 1_0) Y(A60_i^0 1_0)$
$B1_i^5 A62_i^0$	КМ-10-22,5	$X(B1_i^5 1_0) Y(A62_i^0 1_0)$
$O2_i^5 A62_i^0$	Заготовка транспортується на нормалізацію	$X(O2_i^5 A62_i^0) Y(B1_i^5 A61_i^0)$
$A85_i^0 1_0$	Термообробка заготовки	$X(A85_i^0 1_0) Y(Z65_i^0 1_0)$
$Z86_i^0 1_0$	Заготовка термооброблена	$X(Z86_i^0 1_0) Y(A85_i^0 1_0)$

Продовження таблиці 3.1

Позн. елемента	Зміст елемента	Характеристики елемента
A100 <sup>0</sup> <sub>i</sub> 1 <sub>0</sub>	<b>Пробивання двох отворів</b>	X(A100 <sup>0</sup> <sub>i</sub> 1 <sub>0</sub> ) Y(A62 <sup>0</sup> <sub>i</sub> 1 <sub>0</sub> , Z61 <sup>0</sup> <sub>i</sub> 1 <sub>0</sub> )
B1 <sup>8</sup> <sub>i</sub> A100 <sup>0</sup> <sub>i</sub>	Прес 001E	X(B1 <sup>8</sup> <sub>i</sub> A100 <sup>0</sup> <sub>i</sub> )
O2 <sup>8</sup> <sub>i</sub> A100 <sup>0</sup> <sub>i</sub>	Змащення робочої частини штампа маслом 420A	X(O2 <sup>8</sup> <sub>i</sub> A100 <sup>0</sup> <sub>i</sub> ) Y(T9 <sup>8</sup> <sub>i</sub> A100 <sup>0</sup> <sub>i</sub> , M10 <sup>8</sup> <sub>i</sub> A100 <sup>0</sup> <sub>i</sub> )
O3 <sup>8</sup> <sub>i</sub> A100 <sup>0</sup> <sub>i</sub>	Включення пресу. Включення педальне. Встановлення заготовки в штамп.	X(O3 <sup>8</sup> <sub>i</sub> A100 <sup>0</sup> <sub>i</sub> ) Y(Z61 <sup>0</sup> <sub>i</sub> 1 <sub>0</sub> , B1 <sup>8</sup> <sub>i</sub> A100 <sup>0</sup> <sub>i</sub> , T9 <sup>8</sup> <sub>i</sub> A100 <sup>0</sup> <sub>i</sub> , O2 <sup>8</sup> <sub>i</sub> A100 <sup>0</sup> <sub>i</sub> )
O4 <sup>8</sup> <sub>i</sub> A100 <sup>0</sup> <sub>i</sub>	Пробивання отвору в розміри 1,2,3	X(O4 <sup>8</sup> <sub>i</sub> A100 <sup>0</sup> <sub>i</sub> ) Y(O3 <sup>8</sup> <sub>i</sub> A100 <sup>0</sup> <sub>i</sub> )
O5 <sup>8</sup> <sub>i</sub> A100 <sup>0</sup> <sub>i</sub>	Повертання заготовки і встановлення в штамп	X(O5 <sup>8</sup> <sub>i</sub> A100 <sup>0</sup> <sub>i</sub> ) Y(O4 <sup>8</sup> <sub>i</sub> A100 <sup>0</sup> <sub>i</sub> )
O6 <sup>8</sup> <sub>i</sub> A100 <sup>0</sup> <sub>i</sub>	Пробивання другого отвору	X(O6 <sup>8</sup> <sub>i</sub> A100 <sup>0</sup> <sub>i</sub> ) Y(O5 <sup>8</sup> <sub>i</sub> A100 <sup>0</sup> <sub>i</sub> )
O7 <sup>8</sup> <sub>i</sub> A100 <sup>0</sup> <sub>i</sub>	Знімання заготовки і розміщення в тарі	X(O7 <sup>8</sup> <sub>i</sub> A100 <sup>0</sup> <sub>i</sub> ) Y(O6 <sup>8</sup> <sub>i</sub> A100 <sup>0</sup> <sub>i</sub> )
O8 <sup>8</sup> <sub>i</sub> A100 <sup>0</sup> <sub>i</sub>	Перевірка розмірів 1,2,3	X(O8 <sup>8</sup> <sub>i</sub> A100 <sup>0</sup> <sub>i</sub> ) Y(O7 <sup>8</sup> <sub>i</sub> A100 <sup>0</sup> <sub>i</sub> )
T9 <sup>8</sup> <sub>i</sub> A100 <sup>0</sup> <sub>i</sub>	Штамп 1541-7616	X(T9 <sup>8</sup> <sub>i</sub> A100 <sup>0</sup> <sub>i</sub> ) Y(B1 <sup>8</sup> <sub>i</sub> A100 <sup>0</sup> <sub>i</sub> )
Z101 <sup>0</sup> <sub>i</sub> 1 <sub>0</sub>	Листова заготовка із пробитими двома отворами Ø 35 <sup>+0,3</sup>	X(Z101 <sup>0</sup> <sub>i</sub> 1 <sub>0</sub> ) Y(A100 <sup>0</sup> <sub>i</sub> 1 <sub>0</sub> )
A120 <sup>0</sup> <sub>i</sub> 1 <sub>0</sub>	<b>Формування кільцевої заготовки</b>	X(A120 <sup>0</sup> <sub>i</sub> 1 <sub>0</sub> ) Y(A100 <sup>0</sup> <sub>i</sub> 1 <sub>0</sub> , Z101 <sup>0</sup> <sub>i</sub> 1 <sub>0</sub> )
B1 <sup>9</sup> <sub>i</sub> A120 <sup>0</sup> <sub>i</sub>	Прес РКІ 1250	X(B1 <sup>9</sup> <sub>i</sub> A120 <sup>0</sup> <sub>i</sub> )
O2 <sup>9</sup> <sub>i</sub> A120 <sup>0</sup> <sub>i</sub>	Змащення робочої частини штампа маслом індустріальним (для кожної деталі)	X(O2 <sup>9</sup> <sub>i</sub> A120 <sup>0</sup> <sub>i</sub> ) Y(T8 <sup>10</sup> <sub>i</sub> A120 <sup>0</sup> <sub>i</sub> , M15 <sup>10</sup> <sub>i</sub> A120 <sup>0</sup> <sub>i</sub> )
O3 <sup>9</sup> <sub>i</sub> A120 <sup>0</sup> <sub>i</sub>	Включення преса. Включення дворучне.	X(O3 <sup>9</sup> <sub>i</sub> A120 <sup>0</sup> <sub>i</sub> ) Y(O2 <sup>9</sup> <sub>i</sub> A120 <sup>0</sup> <sub>i</sub> , B1 <sup>9</sup> <sub>i</sub> A120 <sup>0</sup> <sub>i</sub> )
O4 <sup>10</sup> <sub>i</sub> A120 <sup>0</sup> <sub>i</sub>	Пробивання отвору і вирубання в розмірі 1 і 2	X(O4 <sup>10</sup> <sub>i</sub> A120 <sup>0</sup> <sub>i</sub> ) Y(O3 <sup>9</sup> <sub>i</sub> A120 <sup>0</sup> <sub>i</sub> )
O5 <sup>10</sup> <sub>i</sub> A120 <sup>0</sup> <sub>i</sub>	Знімання заготовки і розміщення в тарі	X(O5 <sup>10</sup> <sub>i</sub> A120 <sup>0</sup> <sub>i</sub> ) Y(O4 <sup>10</sup> <sub>i</sub> A120 <sup>0</sup> <sub>i</sub> , T9 <sup>10</sup> <sub>i</sub> A120 <sup>0</sup> <sub>i</sub> )
O6 <sup>10</sup> <sub>i</sub> A120 <sup>0</sup> <sub>i</sub>	Збирання відходу	X(O6 <sup>10</sup> <sub>i</sub> A120 <sup>0</sup> <sub>i</sub> ) Y(O5 <sup>10</sup> <sub>i</sub> A120 <sup>0</sup> <sub>i</sub> )
O7 <sup>10</sup> <sub>i</sub> A120 <sup>0</sup> <sub>i</sub>	Перевірка розмірів 1 і 5 5% від партії	X(O7 <sup>10</sup> <sub>i</sub> A120 <sup>0</sup> <sub>i</sub> ) Y(O6 <sup>10</sup> <sub>i</sub> A120 <sup>0</sup> <sub>i</sub> )

Продовження таблиці 3.1

Позн. елем.	Зміст елемента	Характеристики елемента
$T8_i^{10} A120_i^0$	Штамп 1741-7783	$X(T8_i^{10} A120_i^0) Y(B1_i^9 A120_i^0)$
$T9_i^{10} A120_i^0$	Тара 1459-2170000	$X(T9_i^{10} A120_i^0)$
$T10_i^{10} A120_i^0$	Пензель пр 20-1 ГОСТ 10597-80	$X(T10_i^{10} A120_i^0)$
$T11_i^{10} A120_i^0$	Відро 5 ГОСТ 20558-75	$X(T11_i^{10} A120_i^0)$
$T12_i^{10} A120_i^0$	Штангенциркуль ШЦ-I-125-0,1 ГОСТ 16680	$X(T12_i^{10} A120_i^0)$
$T13_i^{10} A120_i^0$	Лінійка 1000 ГОСТ 427-80	$X(T13_i^{10} A120_i^0)$
$T14_i^{10} A120_i^0$	Навушники ВЦНИИОТ-4А Т1400-28-127-76	$X(T14_i^{10} A120_i^0)$
$M15_i^{10} A120_i^0$	Масло індустріальне И20А ГОСТ 20799-75	$X(M15_i^{10} A120_i^0)$
$Z134_i^{01_0}$	Кільцева заготовка $D=670_{-1}$ мм; $d=270,4^{+0,5}$ мм.	$X(Z134_i^{01_0}) Y(A120_i^{01_0})$
$A140_i^{01_0}$	<b>Формування кільцевої секторної заготовки</b>	$X(A140_i^{01_0}) Y(A120_i^{01_0})$
$B1_i^{11} A140_i^0$	Прес 002Е	$X(B1_i^{11} A140_i^0)$
$O2_i^{11} A140_i^0$	Змащення робочої частини штампа маслом	$X(O2_i^{11} A140_i^0)$ $Y(T8_i^{11} A140_i^0, M13_i^{11} A140_i^0)$
$O3_i^{11} A140_i^0$	Встановлення заготовки в штамп. Включення пресу	$X(O3_i^{11} A140_i^0) Y(O3_i^{11} A140_i^0,$ $T8_i^{11} A140_i^0, B1_i^{11} A140_i^0, O2_i^{11} A140_i^0)$
$O4_i^{11} A140_i^0$	Вирубання сектора в розмір 1	$X(O4_i^{11} A140_i^0) Y(O3_i^{11} A140_i^0)$
$O5_i^{11} A140_i^0$	Знімання заготовки і розміщення в тарі	$X(O5_i^{11} A140_i^0)$ $Y(O4_i^{11} A140_i^0, T9_i^{11} A140_i^0)$
$O6_i^{11} A140_i^0$	Збирання відходу	$X(O6_i^{11} A140_i^0) Y(T8_i^{11} A140_i^0)$
$O7_i^{11} A140_i^0$	Перевірка розміру 1	$X(O7_i^{11} A140_i^0)$ $Y(O6_i^{11} A140_i^0, T12_i^{11} A140_i^0)$
$T8_i^{11} A140_i^0$	Штамп 1541-7630	$X(T8_i^{11} A140_i^0) Y(B1_i^{11} A140_i^0)$
$T9_i^{11} A140_i^0$	Тара 1459-2200000	$X(T9_i^{11} A140_i^0)$



Продовження таблиці 3.1

Позн. елем.	Зміст елемента	Характеристики елемента
$T10_i^{11} A140_i^0$	Пензель пр 20-1 ГОСТ 10597-80	$X(T10_i^{11} A140_i^0)$
$T11_i^{11} A140_i^0$	Відро 5 ГОСТ 20558-75	$X(T11_i^{11} A140_i^0)$
$T12_i^{11} A140_i^0$	Шаблон 2754-2570	$X(T12_i^{11} A140_i^0)$
$M13_i^{11} A140_i^0$	Масло індустріальне И20А ГОСТ 20799-75	$X(M13_i^{11} A140_i^0)$
$Z141_i^0 1_0$	Одержана кільцева секторна заготовка	$X(Z141_i^0 1_0) Y(A140_i^0 1_0)$
$A160_i^0 1_0$	Нагрівання кільцевої секторної заготовки	$X(A160_i^0 1_0) Y(A140_i^0 1_0)$
$B1_i^{12} A160_i^0$	Піч нагрівальна 41007.0000	$X(B1_i^{12} A160_i^0)$
$O2_i^{12} A160_i^0$	Розпаюють піч	$X(O2_i^{12} A160_i^0) Y(B1_i^{12} A160_i^0)$
$O3_i^{12} A160_i^0$	Досягають заданої температури в печі 1000°	$X(O3_i^{12} A45_i^0) Y(O2_i^{12} A160_i^0)$ ,
$O4_i^{12} A160_i^0$	Випробовують роботу механізму подачі	$X(O4_i^{12} A160_i^0) Y(O3_i^{12} A160_i^0)$
$O5_i^{12} A160_i^0$	Кладуть кільцеву секторну заготовку вручну на штанги механізму подачі в піч (фіксується по двох упорах, які на штангах)	$X(O5_i^{12} A160_i^0) Y(O4_i^{12} A160_i^0)$
$O6_i^{12} A160_i^0$	Вмикають механізм подачі (вмикання кнопочне)	$X(O6_i^{12} A160_i^0) Y(O5_i^{12} A160_i^0)$
$O7_i^{12} A160_i^0$	При ході вперед, штовхаючі опори встановлюються вертикально. Заготовка переміщається на крок 800 мм.	$X(O7_i^{12} A160_i^0) Y(O6_i^{12} A160_i^0)$
$O8_i^{12} A160_i^0$	Провертання штанг на 90° і встановлення упорів в горизонтальне положення. Здійснення руху упорів назад.	$X(O8_i^{12} A160_i^0) Y(O7_i^{12} A160_i^0)$
$O9_i^{12} A160_i^0$	Спрацювання механізму повороту штампа і встановлення упорів у вертикальне положення.	$X(O9_i^{12} A160_i^0) Y(O8_i^{12} A160_i^0)$
$O10_i^{12} A160_i^0$	Кладуть другу заготовку і повторюють переходи $O5_i^{12} A160_i^0 - O9_i^{12} A160_i^0$ попередньої заготовки	$X(O10_i^{12} A160_i^0) Y(O9_i^{12} A160_i^0)$

Продовження таблиці 3.1

Позн. елем.	Зміст елемента	Характеристики елемента
$O1_i^{12} A160_i^0$	Нагрівання заготовки до $t=950^\circ\text{C}$	$X(O1_i^{12} A160_i^0) Y(O10_i^{12} A160_i^0)$
$O12_i^{12} A160_i^0$	Вигрузка нагрітої заготовки(при виході заготовка встановлюється на рольганг подачі до упору)	$X(O12_i^{12} A160_i^0) Y(O11_i^{12} A160_i^0)$
$O13_i^{12} A160_i^0$	Знімають заготовку з рольгангу спеціальними приспособленнями і подають на монорельсу на формовку	$X(O13_i^{12} A160_i^0) Y(B16_i^{12} A160_i^0) Y(O12_i^{12} A160_i^0)$
$T14_i^{12} A160_i^0$	Кліщі 1200-10106 ГОСТ 11385-75	$X(T14_i^{12} A160_i^0)$
$T15_i^{12} A160_i^0$	Кліщі Е-2959	$X(T15_i^{12} A160_i^0)$
$B16_i^{12} A160_i^0$	Рольганг	$X(B16_i^{12} A160_i^0)$
$Z161_i^0 1_0$	Кільцева секторна заготовка нагріта	$X(Z161_i^0 1_0) Y(A160_i^0 1_0)$
$A180_i^0 1_0$	<b>Формування секційної спіралі</b>	$X(A180_i^0 1_0) Y(A160_i^0 1_0, Z161_i^0 1_0)$
$B_i^{13} 180_i^0$	Прес 6334	$X(B_i^{13} 180_i^0)$
$T2_i^{13} 180_i^0$	Штамп 1651-4167	$X(T2_i^{13} 180_i^0) Y(B_i^{13} 180_i^0)$
$O3_i^{13} 180_i^0$	Встановлюють заготовку на прес в штампі	$X(O3_i^{13} 180_i^0) Y(T2_i^{13} 180_i^0)$
$O4_i^{13} 180_i^0$	Вмикання пресу. Вмикання дворучне.	$X(O4_i^{13} 180_i^0) Y(O3_i^{13} 1_0 B_i^{13} 180_i^0)$
$O5_i^{13} 180_i^0$	Формування заготовки в розміри 1 2 3	$X(O5_i^{13} 180_i^0) Y(O4_i^{13} 180_i^0)$
$O6_i^{13} 180_i^0$	Витримання заготовки в штампі	$X(O6_i^{13} 180_i^0) Y(O5_i^{13} 180_i^0)$
$O7_i^{13} 180_i^0$	Знімання заготовки і розміщення в тарі	$X(O7_i^{13} 180_i^0) Y(O6_i^{13} 180_i^0)$
$O8_i^{13} 180_i^0$	Очищення штампа від окалини стиснутим повітрям	$X(O8_i^{13} 180_i^0) Y(O7_i^{13} 180_i^0)$
$O9_i^{13} 180_i^0$	Перевірити розміри 1 2 3	$X(O9_i^{13} 180_i^0) Y(T10_i^{13} 180_i^0, T11_i^{13} 180_i^0)$
$T10_i^{13} 180_i^0$	Лінійка 1000 ГОСТ 427-80	$X(T10_i^{13} 180_i^0)$
$T11_i^{13} 180_i^0$	Штангенциркуль ШЦ-I-125-0,1 ГОСТ 16680	$X(T11_i^{13} 180_i^0)$
$Z181_i^0 1_0$	Одержана секційна (одновиткова) ГС	$X(Z181_i^0 1_0)$

Закінчення таблиці 3.1

Позн. елем.	Зміст елемента	Характеристики елемента
A187 <sup>0</sup> <sub>i1<sub>0</sub></sub>	<b>Зачищення спіралі</b>	X(A187 <sup>0</sup> <sub>i1<sub>0</sub></sub> )
Б <sub>i</sub> <sup>14</sup> A187 <sup>0</sup> <sub>i</sub>	Верстак	X(Б <sub>i</sub> <sup>14</sup> A187 <sup>0</sup> <sub>i</sub> )
T <sub>i</sub> <sup>14</sup> A187 <sup>0</sup> <sub>i</sub>	Шліфувальна машина 3883210000 3А-382	X(T <sub>i</sub> <sup>14</sup> A187 <sup>0</sup> <sub>i</sub> )
T <sub>i</sub> <sup>14</sup> A187 <sup>0</sup> <sub>i</sub>	Тара 1459-2200000	X(T <sub>i</sub> <sup>14</sup> A187 <sup>0</sup> <sub>i</sub> )
T <sub>i</sub> <sup>14</sup> A187 <sup>0</sup> <sub>i</sub>	Навушники ВЦННІОТ-4А ТУ 400-28127-76	X(T <sub>i</sub> <sup>14</sup> A187 <sup>0</sup> <sub>i</sub> )
T <sub>i</sub> <sup>14</sup> A187 <sup>0</sup> <sub>i</sub>	Распіратор «Сніжок-П» ТУ 84- 1013-84	X(T <sub>i</sub> <sup>14</sup> A187 <sup>0</sup> <sub>i</sub> )
O <sub>i</sub> <sup>14</sup> A187 <sup>0</sup> <sub>i</sub>	Зачищення заусениць по зовнішній та внутрішній крайках та торці витка гвинтової спіралі	X(O <sub>i</sub> <sup>14</sup> A187 <sup>0</sup> <sub>i</sub> ) Y(Б <sub>i</sub> <sup>14</sup> A187 <sup>0</sup> <sub>i</sub> , T <sub>i</sub> <sup>14</sup> A187 <sup>0</sup> <sub>i</sub> , T <sub>i</sub> <sup>14</sup> A187 <sup>0</sup> <sub>i</sub> , T <sub>i</sub> <sup>14</sup> A187 <sup>0</sup> <sub>i</sub> )
Z188 <sup>0</sup> <sub>i1<sub>0</sub></sub>	Гвинтова заготовка зачищена	X(Z188 <sup>0</sup> <sub>i1<sub>0</sub></sub> )
A195 <sup>0</sup> <sub>i1<sub>0</sub></sub>	<b>Здійснення приймального контролю</b>	X(A195 <sup>0</sup> <sub>i1<sub>0</sub></sub> ) Y(A187 <sup>0</sup> <sub>i1<sub>0</sub></sub> )
Б <sub>i</sub> <sup>14</sup> A195 <sup>0</sup> <sub>i</sub>	Пр 1466	X(Б <sub>i</sub> <sup>14</sup> A195 <sup>0</sup> <sub>i</sub> )
Z196 <sup>0</sup> <sub>i1<sub>0</sub></sub>	Заготовка проконтрольована	X(Z196 <sup>0</sup> <sub>i1<sub>0</sub></sub> ) Y(A195 <sup>0</sup> <sub>i1<sub>0</sub></sub> )
A220 <sup>0</sup> <sub>i1<sub>0</sub></sub>	<b>Формування багатовиткової спіралі із відкритою навивкою</b>	X(A220 <sup>0</sup> <sub>i1<sub>0</sub></sub> ) Y(A196 <sup>0</sup> <sub>i1<sub>0</sub></sub> )
Z221 <sup>0</sup> <sub>i1<sub>0</sub></sub>	Багатовиткова гвинтова заготовка із відкритою навивкою	X(Z221 <sup>0</sup> <sub>i1<sub>0</sub></sub> ) Y(A220 <sup>0</sup> <sub>i1<sub>0</sub></sub> )
A224 <sup>0</sup> <sub>i1<sub>0</sub></sub>	<b>Складання шнека (гвинтового робочого органу): формування багатовиткової тз, яка закріплена на тілі обертання (валу)</b>	X(A224 <sup>0</sup> <sub>i1<sub>0</sub></sub> ) Y(Z221 <sup>0</sup> <sub>i1<sub>0</sub></sub> )
Z225 <sup>0</sup> <sub>i1<sub>0</sub></sub>	Одержаний шнек	X(Z225 <sup>0</sup> <sub>i1<sub>0</sub></sub> ) Y(A224 <sup>0</sup> <sub>i1<sub>0</sub></sub> )

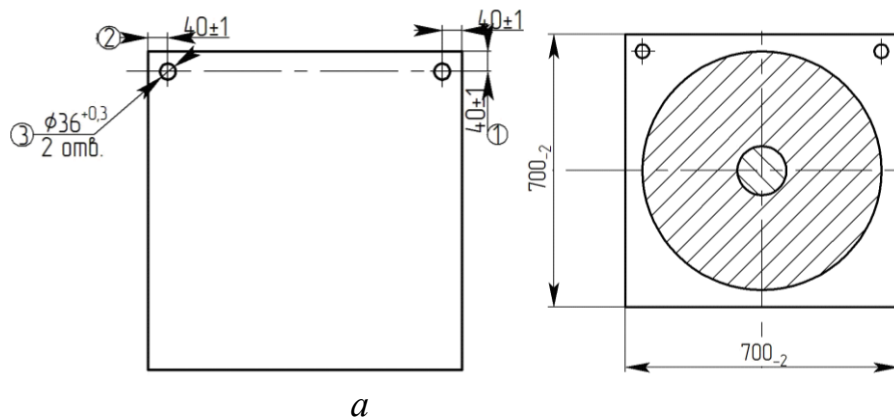


Рисунок 3.1 - Ескіз одержання проміжних заготовок на операціях:

*a* - A100<sup>0</sup><sub>i1<sub>0</sub></sub>; *б* - A120<sup>0</sup><sub>i1<sub>0</sub></sub>

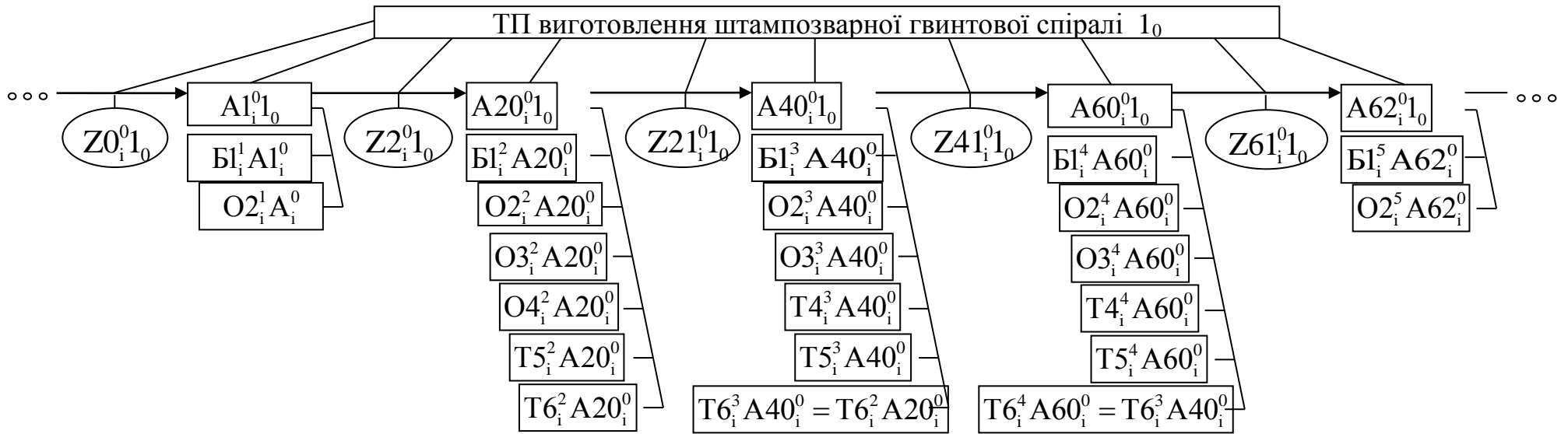


Рисунок 3.2 – Фрагмент графу структури ТП виготовлення гвинтової спіралі

## 3.2. Штaмп для отримання кільцевої заготовки у виробництві секційної гвинтової спіралі ЖВМ 22.119

### 3.2.1 Розробка схеми розкрою матеріалу

Як відомо, розкром матеріалу при листовому штампуванні називається спосіб розташування вирубуваних деталей на заготовці (листі, смузі, стрічці) [15].

В штамповому виробництві економія матеріалу в значній мірі визначається розкромом, тобто найбільш раціональним розміщенням деталей на заготовці. Вибір способу розкрою матеріалу в значній мірі залежить від конструкції та розмірів штампованої деталі.

При вирубуванні прямокутних і фігурних деталей застосовують різні види розкрою: прямий, нахилений, зустрічний прямий і зустрічний нахилений, комбінований, багаторядний, з вирізуванням перемички.

Для матеріалу товщиною  $S = 10$  мм величини перемичок складають  $a = 10$  мм,  $a_1 = 8,5$  мм. [15]. Схема розкрою листа показана на рисунку 1.1.

Ширина смуги –  $B = 680 + 2 \cdot a = 680 + 2 \cdot 10 = 700$  мм ;

Кількість смуг –  $3500 / 700 = 5$  смуг ;

Кількість витків отриманих зі смуги –  
 $7000 / (680 + 2 \cdot a_1) = 7000 / (680 + 2 \cdot 8,5) = 10,1 \approx 10$  витків.

Кількість витків отриманих з листа –  $5 \cdot 10 = 50$  витків

Отже, розгортку секційної гвинтової спіралі ЖВМ 22.119 доцільно вирубувати із касет рис. 2 розміром  $700 \times 700$  мм,  $a = 15$  мм.

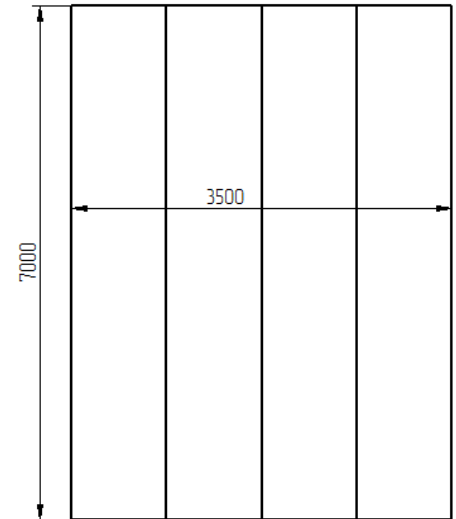


Рисунок 3.3 – Схема розкрою листа на смуги

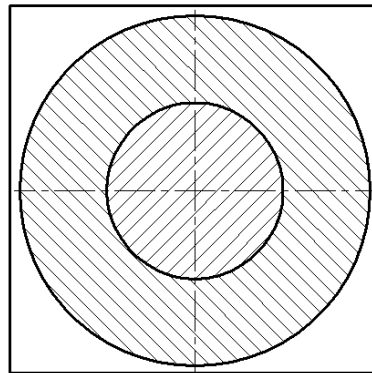


Рисунок 3.4 - Схема вирубання деталі

### 3.2.2 Вибір листового прокату

Матеріал, за видом заготовки, поділяють на листи, смуги, стрічки (рулони) і штучні заготовки (касети). Сортамент листового матеріалу можна вибрати згідно з рекомендаціями відповідних довідників [24] або ГОСТ і ДСТУ [18, 23, 25] із зазначенням габаритних розмірів, виду заготовки.

В якості заготовки вибираємо гарячекатаний лист нормальної точності (Б), нормальної площинності (ПН), з обрізною кромкою (О). розміром 10×3500×7000 по ГОСТ19903-74 із сталі БСт.3Гпс. групи (Б) із здатністю до глибокого витягування (Г) із ступінню розкислення напівспокійною (пс) по ГОСТ14637-79 [1, ст. 101-137].

$$\text{Лист} \frac{\text{Б-ПН-НО-10ГОСТ19903-74}}{65Г \text{ ГОСТ1542-71}}$$

### 3.2.3 Розрахунок коефіцієнта використання матеріалу

Показником, який характеризує економічність розкрою є коефіцієнт використання матеріалу ( $\eta$ ), який представляє собою відношення корисної площі деталі ( $F_o$ ) до площі заготовки ( $F_3$ ).

Раціональність використання площі касети

$$\eta = \frac{F_o}{F_3} \cdot 100\%$$

де  $F_{o1}$  – площа однієї деталі, мм<sup>2</sup>;

$F_3 = B \times L$  – площа касети, мм<sup>2</sup>;

$B, L$  – відповідно довжина і ширина касети, мм.

$$\eta_1 = \frac{343060}{490000} \cdot 100\% = 70\%$$

Коефіцієнт використання матеріалу всього листа визначається за формулою

$$\eta_n = \frac{N_o F_{o1}}{F_n} \cdot 100\%$$

де  $N_o$  – загальна кількість деталей отриманих з листа, шт.;

$F_{o1}$  – площа однієї деталі, мм<sup>2</sup>;

$F_n$  – площа листа, мм<sup>2</sup>.

$$\eta_1 = \frac{343060 \cdot 50}{7000 \cdot 3500} \cdot 100\% = 70\%$$

### 3.2.4 Визначення енерго-силових параметрів процесу штампування

#### 3.2.4.1 Розрахунок зусилля вирубування (пробивання).

Зусилля, необхідне для подолання опору металу на зрізування при вирубуванні (пробиванні) в штампах, залежить від ряду факторів.

1. Фактори, пов'язані з матеріалом, формою та розмірами деталі: механічні

властивості металу та глибина проникнення пуансона в метал; товщина листового матеріалу, з якого вирубється деталь; форма і розміри вирубваного контуру.

2. До факторів, пов'язаних конструкцією штампа відносяться : величина зазору між матрицею і пуансоном, конструкція матриці (форма отвору для виходу деталей чи відходів).

3. Умови вирубвання (пробивання ): швидкість деформування; змащення матеріалу та інструменту; форма ріжучих лез пуансона і матриці, які можуть бути плоскими , тобто паралельними, та скошеними – нахиленими між собою; стан зношування та ступінь твердості цих лез.

Розрахункове зусилля процесу зрізування в штампах з паралельними ріжучими лезами коли кут нахилу  $\varphi = 0^\circ$ , а кут різання становить  $\delta = 90^\circ$ , визначається за формулою :

$$P = F_o \sigma_{зр} = u s \sigma_{зр}$$

де –  $F_o = us$  – площа зрізування, мм<sup>2</sup>;

$u$  – довжина контура (периметр) вирубваної деталі чи отвору, що пробивається, мм<sup>2</sup> ;

$s$  – товщина листового матеріалу, мм;

$\sigma_{зр}$  – опір зрізуванню (табличне значення), кг/мм<sup>2</sup>.

$$P = (670 \cdot 109) \cdot 3.14 \cdot 10 \cdot 460 = 10217000 \text{ H}$$

Дійсне зусилля вирубвання в виробничих умовах, з врахуванням перелічених факторів буде більшим ніж розрахункове. Його значення можна знайти з допомогою коефіцієнтів, які враховують дію кожного фактора на шукану величину. Загальний коефіцієнт  $k$ , що є добутком окремих коефіцієнтів, як показали дослідження , знаходиться в межах 1,0 – 1,3. Тоді дійсне значення зусилля вирубвання (пробивання)  $P_\delta$ , яке приймається як вихідне значення при розрахунку потужності для вибору обладнання, буде рівне

$$P_\delta = k P; P_\delta = 1,3 \cdot 10217000 = 13282000 \text{ H}.$$



### 3.2.4.2 Визначення зусилля проштовхування (знімання) деталі

В листовому штампуванні зусилля проштовхування залежать в основному від тих же факторів, що і зусилля вирубування, тому на практиці для спрощення розрахунків зусилля проштовхування виробу через матрицю ( $Q_{np}$ ) прийнято визначати в процентному відношенні від зусилля вирубування. Таким чином зусилля проштовхування однієї деталі визначається за формулою

$$Q_{np} = k_{np} P$$

де  $k_{np}=0.07$ – коефіцієнт, що враховує вплив різних факторів на зусилля проштовхування, аналогічно зусиллю вирубування. [15]

$$Q_{np} = 0,07 \cdot 10217000 = 715185 \text{ H}$$

Зусилля для зняття матеріалу із пуансона ( $Q_{зн}$ ) залежить в основному від тих же факторів, що і зусилля проштовхування (за виключенням форми прохідного отвору матриці). Крім цього при зніманні матеріалу із пуансона суттєвий вплив має величина перемички ( $a$ ) та згин самої смуги, що служить заготовкою.

Зусилля зняття матеріалу із пуансона теж визначають по емпіричній залежності

$$Q_{зн} = k_{зн} P$$

де  $k_{зн}=0.03$ – коефіцієнт, що враховує вплив різних факторів на величину зусилля зняття матеріалу з пуансона. [4], ст. 80 табл. 9, або табл. 5.

$$Q_{зн} = 0,03 \cdot 10217000 = 306508 \text{ H}$$

Загальне зусилля штампування необхідне для визначення роботи, що затрачається на вирубування (пробивання) та вибір обладнання визначається за формулою

$$P_{заг} = P_{max} + Q_{np} + Q_{зн}; P_{заг} = 13282000 + 715185 + 306508 = 14303600 \text{ H}$$

### 3.2.4.3 Розрахунок затрачуваної роботи на штампування та потужності преса

Робота, що затрачається на вирубування (пробивання), визначають за формулою

$$A = \frac{\lambda \cdot P_{заг} \cdot S}{1000}$$

де  $\lambda$  – коефіцієнт, що виражає співвідношення середнього до максимального зусиль вирубування.

З достатньою для практики степінню точності коефіцієнт  $\lambda$  можна вибирати в залежності від товщини матеріалу  $S$  із даних [15], ст. 38

$$A = \frac{0,3 \cdot 14303600 \cdot 10}{1000} = 42911 \text{ Дж}$$

Знаючи величину роботи  $A$ , затрачуваної на здійснення операції вирубування (пробивання), можна знайти по відомих формулах необхідну потужність преса і електродвигуна.

### 3.2.5 Розрахунок та конструювання штампа

#### 3.2.5.1 Визначення центру тиску штампа

Для правильної роботи преса центр тиску необхідно суміщати з віссю повзуна, що забезпечується розміщенням хвостовика в верхній плиті штампа, таким чином щоб його вісь проходила через центр тиску штампа. В іншому випадку виникає згинний момент, у результаті чого відбувається перекид повзуна, що призводить до швидкого зношування направляючих штампа (рис. 3.3).

В геометрично правильних фігурах (контурах) центри тиску співпадають з їх геометричним центром, тому для знаходження центра тяжіння тиску таких контурів не вимагається проведення додаткових розрахунків, а достатньо скористатися відомими геометричними формулами.

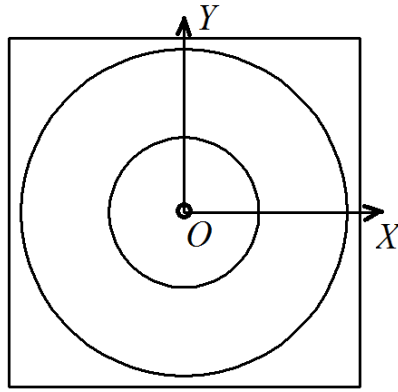


Рисунок 3.5 – Схема визначення центра тиску штампа

Отже центр тиску штампа буде знаходитись в точці з координатами  $(0;0)$ . Тобто, для практичного визначення положення центра тиску штампа достатньо знати лінійні розміри пуансонів і їх взаємне розташування.

### 3.2.5.2 Визначення закритої висоти штампа

Штамп проектується в його нижньому робочому положенні. В цьому положенні найкращим чином пов'язується взаємодія робочих (пуансона і матриці), притискаючих направляючих і знімаючих чи видаляючих вузлів і деталей штампа.

Висота штампа в його нижньому робочому положенні називається закритою висотою штампа, яка обов'язково повинна бути узгоджена (пов'язана) із закритою висотою преса.

Закритою висотою преса називається віддаль від плити до повзуна преса в його нижньому положенні при максимальному ході та максимально вкороченій довжині шатуна. Закрита висота преса вказує на граничну висоту штампа, який може бути встановлений, для роботи на даному пресі.

Штамп, що має закриту висоту більшу, ніж закрита висота преса, не може бути встановлений на цей прес. А якщо він і буде встановлений, у випадку коли повзун преса буде у крайньому верхньому положенні, то при пускові преса може відбутися його поломка.

При деякому заданому ході повзуна  $h_0$  на прес може бути встановлений

штамп із закритою висотою, величина якої знаходиться в межах від

$$H_0^{\min} = H - H_{nl} - \Delta_{ш} - \Delta_c + \frac{h_{\max} - h_0}{2}$$

до

$$H_0^{\max} = H - H_{nl} + \frac{h_{\max} - h_0}{2}.$$

де  $H$  – номінальна закрита висота преса, мм;

$H_{nl}$  – товщина підштампової плити, мм;

$\Delta_{ш}$  – величина регулювання довжини шатуна (для пресів подвійної дії - шатунів), мм;

$\Delta_c$  – величина регулювання положення стола, мм;

$h_{\min}$ ,  $h_{\max}$  – відповідно найменший і найбільший хід (внутрішнього і зовнішнього) повзуна, мм.

В межах між  $H_{ш}^{\max}$  і  $H_{ш}^{\min}$  знаходяться всі проміжні значення закритої висоти штампів, встановлюваних на даний прес.

Прес зусиллям 160 Тс моделі КД 1432А має наступні технологічні параметри:  $H = 600$  мм,  $\Delta_{ш} = 120$  мм;  $\Delta_c = 260$  мм;  $h_{\max} = 120$  мм;  $h_{\min} = 20$  мм. Необхідно визначити можливу закриту висоту встановлюваного на даний прес штампа при ході повзуна преса  $h_0 = 25$  мм.

Найбільша закрита висота штампа становить :

$$H_0^{\max} = 600 - 120 + \frac{120 - 20}{2} = 530 \text{ мм};$$

$$H_0^{\min} = 600 - 120 - 120 - 260 + \frac{120 - 20}{2} = 150 \text{ мм}.$$

### **3.2.5.3 Вибір зазорів та визначення виконавчих (робочих) розмірів пуансона та матриці**

При визначенні виконавчих (робочих) розмірів пуансонів і матриць для роз'єднувальних операцій листового штампування необхідно виходити із розмірів штампованої деталі, її точності (тобто допусків на її виготовлення) і

характеру зношення штампа. Для отримання штампованої деталі із заданою степінню точності необхідно передбачити правильний вибір (призначення) зазорів і допусків на робочі розміри пуансона та матриці. При цьому допуски на робочі розміри пуансонів і матриць повинні задаватися в таких межах, щоб вони забезпечували отримання оптимальних зазорів.

Величина вирубуваної деталі, по зовнішньому контурі, залежить від розмірів матриці, а величина отвору, що пробивається – від розмірів пуансона. На основі цього можна встановити напрямок зазору в залежності від того, які розміри деталі необхідно витримувати – зовнішні чи внутрішні (охоплюючі чи охоплювані).

У випадку вирубування зовнішнього контуру номінальні розміри деталі  $D_n$  надаються матриці, а зазор  $z$  забезпечується за рахунок зменшення розмірів пуансона  $D_n$ , тобто  $D_n = D_n - z$ . Номінальний розмір матриці приймається рівним найменшому граничному розміру деталі. При пробиванні отворів його розміри  $d_n$  надаються пуансону  $d_n$ , а зазор  $z$  забезпечується за рахунок збільшення розмірів матриці  $d_m$ , тобто  $d_m = d_n + z$ . Номінальний розмір пуансона береться рівним найбільшому граничному розміру отвору.

Призначення (вибір) величини зазорів. Значення мінімальних і максимальних початкових двосторонніх зазорів для різних матеріалів при роботі на пресах з числом ходів 120 – 140 в хвилину приведені в [4], ст. 84, табл. 6. Найменші початкові зазори є номінальними. Найбільші початкові зазори враховують збільшення їх за рахунок допусків на виготовлення пуансона і матриці.

Враховуючи, що зношення матриці приводить до збільшення її розмірів, а зношення пуансона – до зменшення, то номінальні їх розміри задаються відповідно: мінімальні – для матриці та максимальним – для пуансона.

Розміри пуансона та матриці визначаються за такими залежностями (див. схему):

при вирубуванні зовнішнього контура:

$$D_M = (D_H - \Delta')^{+\delta_M}$$

$$D_{II} = (D_H - \Delta' - z_{\min})_{-\delta_{II}}$$

при пробиванні отвору:

$$d_M = (d_H - \Delta' + z_{\min})^{+\delta_M}$$

$$d_{II} = (d_H - \Delta')_{-\delta_{II}}$$

де  $D_n, D_M, d_n, d_M$  – відповідно діаметри пуансонів і матриць при вирубуванні та пробиванні;

$D_n, d_n$  – номінальні діаметри деталі;

$z_{\min}$  – мінімальний (гарантований) зазор між матрицею та пуансоном;

$\Delta$  – поле допуску штампованої деталі (на зовнішній контур або отвір), який задається кресленням;

$\Delta'$  – припуск на зношення інструменту;

$\delta_n$  і  $\delta_M$  – відповідно допуски на виготовлення пуансона та матриці:

При визначенні виконавчих (робочих) розмірів штампа слід також враховувати і припуск на зношення пуансона та матриці  $\Delta'$ , який визначається в залежності від необхідної точності штампування деталі риймається о  $\Delta' = 0,8 \Delta$ .

Сума допусків на виготовлення матриці та пуансона не повинна перевищувати допуск на зазор

$$\delta_n + \delta_M \leq (z_{\max} - z_{\min}).$$

Допуски на виконавчі (робочі) розміри матриці та пуансона  $\delta_n$  і  $\delta_M$  приймається по 7-му квалітету точності при вирубуванні (пробиванні) деталей товщиною  $S \leq 4$ мм, при  $S > 4$ мм, можна приймати по 8-му квалітету.

Допуски на виготовлення пуансона та матриці вибираються по відповідних таблицях єдиної системи допусків і посадок згідно ГОСТ 25347 – 82 (СТ СЭВ 114-75) в залежності від квалітету точності і номінальних розмірів пуансона та матриці.

Оскільки допуски на розміри  $\Delta > 100$  мкм, то припуски на зношення відповідних робочих розмірів матриці та пуансона по цих розмірах рівні

$$\Delta'_{60} = 0,8 \times 2 = 1.6 \text{ мм};$$

$$\Delta'_{30} = 0,8 \times 0.87 = 0.70 \text{ мм}.$$

Згідно табл. 7 для товщини матеріалу  $S = 10$  мм приймаємо

$$Z_{\min} = 1,0 \text{ мм}$$

$$Z_{\max} = 1,6 \text{ мм}$$

Крім цього по таблицях допусків для розмірів 60 мм і  $\varnothing 22$  мм по 8-му квалітету знаходимо відповідні значення  $\delta_H$  і  $\delta_M$ :

$$\delta_{60} = 0,125 \text{ мм}; \quad \delta_{22} = 0,054 \text{ мм}.$$

Знаходимо значення розмірів матриці та пуансона для зовнішнього контуру з врахуванням припуску на зношення за формулами

$$D_M = (D_H - \Delta')^{+\delta_M} = (670 - 1,6)^{+0,125} = 668,4^{+0,125} \text{ мм};$$

$$D_{II} = (D_H - \Delta' - z_{\min})_{-\delta_{II}} = (670 - 1,6 - 1)_{-0,125} = 667,4_{-0,125} \text{ мм}.$$

Для отвору за формулами знаходимо

$$d_M = (d_H - \Delta' + z_{\min})^{+\delta_M} = (109 - 0,70 + 1)^{0,054} = 109,3^{0,054} \text{ мм};$$

$$d_{II} = (d_H - \Delta')_{-\delta_{II}} = (109 - 0,7)_{-0,054} = 108,3_{-0,054} \text{ мм}.$$

### 3.2.5.4 Визначення стійкості штампа

На стійкість штампа суттєво впливає матеріал штампівки, товщина матеріалу, що штампується, конфігурація та розміри деталі, конструктивні особливості штампа, матеріал і термічна обробка деталей штампа, умови експлуатації (наявність змашування, встановлення штампа, догляд за штампом).

Під час опрацювання даного підпункту потрібно провести перевірочний розрахунок пуансона, матриці або інших відповідальних елементів обладнання на міцність у випадку значних зусиль штампування, отворів малих діаметрів і при значній товщині (твердості) матеріалу. Матеріалом інструменту можуть бути сталі У10А при НРС 56÷60,  $\sigma_{cm} = 1000 \div 1600$  МПа. Для пробивки умова міцності пуансона має вигляд:

$$\sigma_{cm} = P_{p1} / F \leq [\sigma]_{cm}$$

де  $F$  – площа найменшого поперечного січення пуансона, м<sup>2</sup>;

$\sigma_{cm}$  – напруження стиску в пуансоні, МПа;

$[\sigma]_{cm}$  – допустиме напруження стиску для загартованої сталі, МПа.

Розрахунок проводимо для пуансона для пробивки

$$\sigma_{cm1} = \frac{1585000}{9326} = 170 \text{ МПа}$$

Тиск на прокладки (упорні пластини) штампа від пуансона (матриці):

$$p = \frac{P_{\max}}{F_6} = \frac{k_{us}\tau_o}{F_6} \leq [\sigma]_{зм}$$

де  $F_6$  – площа перерізу верхньої частини пуансона (матриці), м<sup>2</sup>;

$[\sigma]_{зм}$  – допустиме напруження на зминання матеріалу плит штампа, МПа.

$$p = \frac{13282000}{13000} = 25 \text{ МПа}$$

де  $[\sigma]_{зм}$  – допустиме напруження згину, МПа.

### 3.2.5.5 Розрахунок конструктивних елементів штампа

Для притискання матеріалу заготовки, що підлягає штампуванню, зняття виробу чи заготовки з пуансона, для виштовхування виробу з матриці використовують різні прижими, знімачі, які називають буферними пристроями (ГОСТ 22183-76, ГОСТ 22202-76) [1]. Буферами можуть бути гумові, поліуретанові, металеві пружні елементи, а також пневматичні і гідравлічні пристрої. Останні є дорогими, а тому в пресах простої дії рекомендовано використовувати перші типи буферних пристроїв.

Важливою умовою розрахунку буферної пружини є те, що зусилля зняття виробу повинно бути меншим зусилля, що розвиває буфер  $Q_{zn} < P_6$ .

*Гвинтові циліндричні пружини* для буферів виготовляють з дроту круглого, квадратного, прямокутного перерізів (ГОСТ 18793-73). Матеріалом для пружин є пружинна сталь марок 65Г, 60С2, 60С2А. Пружини гартують в маслі з відпуском, після чого твердість складає НРС 38 - 45.



Зусилля, що розвиває буфер:

- для пружин із круглим поперечним перерізом

$$P_{\text{б}} = \frac{\pi d^3 [\tau]_{\text{кр}}}{8 D_{\text{ср}}} \text{ (Н)},$$

де  $d$  – діаметр поперечного перерізу витка пружини, мм;

$D_{\text{ср}}$  – середній діаметр пружини, мм;

$[\tau]_{\text{кр}}$  – допустиме напруження на кручення (500 МПа для сталі 65Г; 550-650 МПа для сталей 60С2, 60С2А).

Зусилля знімання  $Q_{\text{зн}} = 40560 \text{ Н}$  повино бути меншим зусилля, що розриває буфер  $P_{\text{б}}$ . У конструкції штампа використано 4 пружини звідси визначаємо мінімальний середній діаметр пружини.

$$D_{\text{ср}} = \frac{8 \cdot \pi d^3 [\tau]_{\text{кр}}}{P_{\text{б}}} = \frac{8 \cdot 3.14 \cdot 5^3 \cdot 500}{100000} = 15.7 \text{ мм}$$

### 3.2.6 Опис будови та принципу роботи штампа

В нашому випадку використовуємо прес моделі PKZ 1500 складається із плити нижньої та верхньої яка рухається по колоні. Знизу до плити кріпиться пуансон, який пробиває деталь і матриця-пуансон, яка вирубує деталь по зовнішньому контуру через прокладку, котра знаходиться в матриці, зняття деталі з пуансона відбувається за допомогою знімача. Матриця знаходиться на нижній плиті. Величину подачі смуги на пробивання регулюється за допомогою упора і крокового ножа. Верхня плита за допомогою хвостовика кріпиться до преса

Процес вирубування відбувається наступним чином:

Верхня плита разом із пуансоном опускається вниз проходячи через знімач, пуансон вдаряє по заготовці, що лежить на матриці, тоді вирубуються отвір і в той же час деталь вирубується по зовнішньому контуру. При зворотному ході пуансона в початкове положення від піднімає лист металу до тих пір поки він не підніметься до знімача, який зніме лист металу.

### **3.2.7. Вибір обладнання і його технічна характеристика**

Згідно з попередньо проведеними розрахунками за максимальним зусиллям штампування  $P_{max}$ , габаритами деталі та іншими конструктивно-силовими параметрами остаточно прийняти модель пресового обладнання.

За викладеною методикою проектуємо штамп для вирубування кільцевої секторної заготовки з криволінійним торцем. Для виготовлення одного шнекового робочого органу необхідно лише дві такі заготовки. з них отримують дві секційні гвинтові спіралі, які розміщують на краях валу шнека. Основними елементами конструкції такого штампу є пуансон (1), матриця (2), плита (3), підкладна планка (4), підкладна планка (5), колонки (6), пуансонотримач (7), нижня плита (8), верхня плита (9), хвостовик (10), упор (11), втулка (12), підставка (13), прокладка (14), колонки (15), втулки (16).

### **3.3 Висновки до розділу**

На основі методики уніфікаційного синтезу здійснено формалізований опис структури спроектованого ТП виготовлення секційної гвинтової спіралі ЖВМ 22.119, а також спроектовано конструкцію штампу для отримання кільцевої заготовки у виробництві згаданої гвинтової спіралі.

## 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

### 4.1 Основні небезпечні та шкідливі виробничі фактори при виготовленні секційної гвинтової спіралі ЖВМ 22.119

У процесі технологічної підготовки виробництва та реалізації спроектованого ТП виготовлення спіралі можуть мати місце такі небезпечні та шкідливі виробничі фактори (таблиця 4.1) такі як виробничі шуми та вібрації, запиленість та загазованість повітря, небезпеки виникнення пожеж, механічні травми та небезпеки ураження електричним струмом.

Таблиця 4.1 - Шкідливі виробничі фактори та заходи щодо їх попередження

№ з/п	Вредний фактор	Характеристики факторів		Запобіжні заходи
		фактичний	норма	
1.	Температура повітря	+18 – 23° С	+17 – 25°С	Регулярне провітрювання, кондиціонування та опалення приміщень
2.	Відносна вологість повітря	40 – 60%	75%	Наявність устаткування для місцевої та загальної припливно-витяжної вентиляції
3.	Швидкість повітря	6 м/с	10— 12,4 м/с	Припинення завантажувально-розвантажувальних робіт за умови перевищення граничних значень
4.	Рівень шуму	60 дБ	75дБ	Впровадження сучасних технічних засобів (глушники шуму тощо) для звукоізоляції, звукопоглинання та зменшення рівня шуму у джерелі його виникнення; забезпечення акустичної ізоляції окремих приміщень.
5.	Вібрація	62 дБ	116 дБ	Впровадження сучасних технічних засобів віброізоляції та вібропогашення
6.	Освітлення	100 лк	250 лк	Впровадження і раціональне розміщення сучасних освітлювальних технічних засобів
7.	Забруднення повітря пилюкою, газами і відпарами	3,4 мг/м <sup>3</sup>	0,5 мг/м <sup>3</sup>	Впровадження і раціональне розміщення сучасних технічних засобів фільтрації та нейтралізації шкідливих газів.

## 4.2 Техніка безпеки під час виконання штампувальних робіт

Під час виконання штампувальних робіт необхідно дотримуватися вимог, які зазначені в Правилах охорони праці під час холодного оброблення металів НПАОП 0.00-1.68-13.

Під час штампування дрібних деталей невеликими партіями подавання заготовок у штамп необхідно виконувати із застосуванням засобів малої механізації (лотків, шиберів). Подавання заготовок у штамп і видалення відштампованих деталей і відходів зі штампа вручну дозволяється за наявності на пресі ефективних захисних пристроїв або при застосуванні штампів безпечної конструкції, висувних або відкидних матриць, зблокованих із ввімкненням преса. На невеликих штампах, застосовуваних на пресах з малим ходом повзуна, необхідно передбачати зазори безпеки між рухомими і нерухомими їх частинами:

- не більше 8 мм - між верхнім рухомим знімачем і матрицею, між нерухомим нижнім знімачем і пуансоном при перебуванні повзуна у верхньому положенні;
- не менше 20 мм - між нижнім знімачем і притиском та пуансонотримачем, між втулками (у штампах з напрямними колонками) і знімачем під час перебування повзуна в нижньому положенні.

На пресах з великим ходом повзуна зазначений зазор безпеки 20 мм повинен бути збільшений з таким розрахунком, щоб кисть руки працівника не була притиснута в нижньому положенні повзуна. Якщо за умовами роботи (установка штампа на пресі з нерегульованим великим ходом повзуна) неможливо дотримати зазори безпеки між рухомими і нерухомими частинами, небезпечні зони повинні бути обгороджені.

У штампах з напрямними колонками повинно блокуватися сходження напрямних втулок з колонок під час підйому повзуна. Противіджимні пристрої не повинні виходити з прямого отвору під час роботи преса або вони повинні розташовуватися на штампі відповідно до вимог технологічної документації, затвердженої роботодавцем. Застосування випадкових шайб і

прокладок під час кріплення штампів не дозволяється. Під час закріплення верхньої частини штампа за допомогою хвостовика розміри його повинні відповідати отворів повзуна преса. За потреби повинні використовуватися інші наявні в повзуні преса елементи кріплення (різьбові, наскрізні отвори).

Застосовувати на хвостовиках штампів перехідні втулки дозволяється у випадках, коли хвостовик призначений тільки для центрування. Під час закріплення верхньої частини штампа до повзуна преса тільки хвостовиком, а також при застосуванні кулькових напрямних елементів сходження напрямних втулок зі стовпчиків під час роботи штампа не дозволяється. Установлення декількох пружин у штампах в наборі по висоті без центрувальних елементів, які запобігають зсуванню пружин, не дозволяється. Штампи із твёрдосплавними робочими деталями установлювати на підкладні бруси не дозволяється.

Видалення застряглих у штампі деталей і відходів необхідно виконувати відповідними пристроями (гачками, щітками) при вимкненому пресі. Змащування штампів необхідно виконувати за допомогою спеціальних пристосувань (ручних розприскувачів або стаціонарних пристроїв для змащування) для запобігання потраплянню рук працівника у небезпечну зону. Під час роботи на пресах необхідно систематично перевіряти кріплення штампів до преса, кріплення деталей штампів, стан захисних пристроїв, прочищати канали для змащення і виходу повітря.

### **4.3 Техніка безпеки при роботі на фрезерних верстатах**

Щоб уникнути одержання травм робітник, крім загальних правил безпечної роботи, повинний дотримувати ще і специфічні правила, що обумовлені особливостями фрезерних верстатів. Вони полягають у наступному:

1. Ознайомитися по технологічній документації з майбутньою роботою, перевірити комплектацію і справність пристосувань і інструмента.

2. Перевірити легкість переміщення столу верстата у всіх напрямках ручними подачами, при необхідності послабити стопорні пристрої й установити стіл у положення, зручне для встановлення фрези.

3. Посадкові поверхні фрези, оправок, перехідних втулок, цанг і шпинделів, а також торці настановних кілець, щоб на них не залишалися забруднення і волокна від обтирального матеріалу.

4. При установці і зніманні фрез остерігатися поранень рук.

5. При фіксуванні хвостовика фрези в шпинделі верстата варто переконатися в тім, що він сідає щільно, без люфту, а саму фіксацію здійснювати, виключивши коробку швидкостей щоб уникнути провертання шпинделя.

6. Після закріплення фрези перевірити величину биття. Настроїти коробки швидкостей і подач на задані режими, а також встановити і закріпити упори автоматичного вимикання подач.

7. Місця кріплення заготовок вибирати якнайближче до оброблюваної поверхні. Особлива увага повинна бути приділена стану поверхні столу. Перед установкою заготовок на стіл верстата необхідно ретельно очистити його від забруднень і стружки. У випадку кріплення заготовок на неопрацьовані поверхні варто застосовувати прихвати з насічкою.

8. Якщо обробку роблять у пристосуванні, то необхідно:

- перед установкою пристосування протерти стіл і посадкові місця пристосування;

- при підналагодженні положення пристосування на столі верстата застосовувати тільки молотки з вставками з м'якого матеріалу (міді, латуні);

- у випадку кріплення заготовок за неопрацьовані поверхні в лещатах їх необхідно оснастити притискними губками з насічкою;

- закріплюючи заготовок за оброблені поверхні в лещатах, їх необхідно оснастити нагубниками з м'якого металу;

- при закріпленні циліндричних заготовок у патроні ділильної голівки варто застосовувати різні втулки з м'якого металу і прокладати фольгу.

9. У зв'язку з тим що найбільшу небезпеку для фрезерувальника представляє фреза і стружка, обов'язковим є застосування огорожень і пристосувань для

уловлювання і відводу стружки. У випадку неможливості їхнього використання застосовують засобу індивідуального захисту -- окуляри чи щитки.

10. Перед установкою заготовок на стіл верстата чи в пристосування очищати їх від забруднень, звертаючи особливу увагу на стан базових поверхонь; при наявності на базових поверхнях задирок й інших нерівностей видалити їх слюсарним інструментом.

11. Варто уникати розміщення на столі верстата допоміжних і вимірювальних інструментів, а також заготовок і оброблених деталей.

12. Застосовувати правильні прийоми роботи:

- заготовку подавати до фрези тільки після включення обертання шпинделя, при цьому механічну подачу включати до зіткнення фрези з заготовкою;

- зупиняючи верстат, спочатку виключити подачу, потім відвести фрезу від оброблюваної деталі і виключити обертання шпинделя;

- відводити фрезу на безпечну відстань, щоб не зашкодити руки об її краї при зніманні обробленої деталі чи її вимірі;

- стежити за правильним підведенням ЗОР у зону різання.

13. При знятті обробленої деталі, а також при її вимірі остерігатися поранення рук. Щоб уникнути поранень користуватися для зняття зазубрив слюсарним інструментом або абразивним бруском.

14. Якщо крайки фрези викришилися її необхідно замінити.

15. Видаляти стружку зі столу після зняття кожної обробленої деталі за допомогою капронових, волосяних чи щетинних щіток (для цієї мети може бути використаний також пилосос). Забороняється обдування столу стисненим повітрям і використання металевих щіток і гачків.

16. У процесі роботи стружку видаляти тільки пензликом з ручкою, довжина якої не менш 250 мм. При цьому необхідно пам'ятати, що стружка, розкидана на підлоги, може бути причиною травм ніг і її варто періодично забирати.

17. При виникненні вібрацій зупинити верстат і взяти заходів до їх усунення, перевірити стан і кріплення фрези, надійність кріплення оброблюваної деталі і пристосування, режими різання.

18. Щіткою видаляти стружку з пристосування, зі столу і з станини, а пензликом або загостреною дерев'яною паличкою очищати від стружки і забруднень пази столу й інші важкодоступні місця. Збирати стружку з підстави верстата і забирати її в спеціальний шухляд.

19. Для зняття фрези застосовувати спеціальний вибивач, попередньо розмістивши на столі верстата дерев'яний лоток, що запобігає псуванню як інструмента, так і столу верстата.

#### 4.4 Протипожежні заходи

В якості робочої рідини використовується мінеральне мастило. Температура спалаху у нього більше 61 °С тому дане виробництво слід віднести до категорії “В”. В відповідності з ДБН В.2.1.1-2002 приміщення має ступінь вогнестійкості – II, допустиме значення поверхів - фактично 1, площа поверху не обмежується. Межі вогнестійкості будівлі II ступеня стійкості наведені в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Межі вогнестійкості стін

Стіни	Межа вогнестійкості
Несучі і сходові клітки	2
Само несучі	1
Зовнішні не несучі	0,25
Колони	2
Сходові площадки, ступені, балки	1
Плити, настили і інші перекриття	0,25
Елементи покриття	
Плити, настили, прогони	0,25
Балки, ферми, арки	0,25

Для забезпечення гасіння пожежі в початковому стані його джерело треба встановити найшвидше, тому встановлюємо внутрішній пожежний кран. З метою забезпечення пожежобезпеки слід контролювати установку по допускній температурі, т.к. в ній використовується мінеральне мастило, а також не допускати перегріву електродвигунів.



В приміщенні висота від підлоги до низу виступаючих конструкцій повинна бути не менша 2,2 м , Висота від підлоги до низу виступаючих частин конструкцій і обладнання у місцях регулярного проходження людей і на шляхах евакуації - не менше 2 м .

Евакуаційні шляхи повинні забезпечувати безпечну евакуацію всіх людей, що знаходяться в приміщеннях споруд, через евакуаційні виходи. Кількість евакуаційних виходів з будівель слід приймати не менше двох.

Відстань від найбільш віддаленого робочого місця приміщення до евакуаційного виходу із будівлі для даного приміщення згідно ДБН В.2.1.1-2002 не обмежується. Ширина виходу із приміщення: через двері 1м, через роздвижні ворота -2.5'м. Кількість людей па 1 метр складає близько 10 чоловік. Згідно ДБН В.2.1.1-2002 кількість до 120 чоловік. В приміщенні знаходиться пожежний щит з вогнегасником, сокирою, лопатою, відром, біля щита ящик з піском.

Викладені матеріали підготовлені на основі використання навчально-методичних матеріалів [19, 20].

#### **4.5 Висновки до розділу**

Структуровано основні небезпечні та шкідливі виробничі фактори при виготовленні секційної гвинтової спіралі ЖВМ 22.119, норми техніки безпеки під час виконання штампувальних робіт і роботі на фрезерних верстатах, а також визначено основні протипожежні заходи для реалізації безпечної роботи на підприємстві з виготовлення згаданої деталі.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Розроблено ТП виготовлення секційної гвинтової спіралі з математичним описом структури спроектованого ТП.

2. Поведено аналіз допусків на виготовлення гвинтових спіралей за різними стандартами.

3. Виконано дослідження відомих аналітичних та комп'ютерних методик розрахунків геометричних параметрів кільцевих секторних заготовок для отримання гвинтових спіралей з розробкою рекомендацій щодо їх використання в проектних розрахунках. За результатами цього:

1) Виявлено значне розходження розрахункових даних, отриманих за різними методиками розрахунку конструктивних параметрів кільцевих секторних заготовок з яких отримують секційні гвинтові заготовки. діапазон розходження даних досягає 18%. Таке розходження компенсується значними допусками на отримання таких заготовок за діючими стандартами.

2) Виявлено, що з кільцевих секторних заготовок одного типорозміру за різними технологічними способами отримують секційні гвинтові спіралі з різними геометричними параметрами. Це пов'язано з особливостями пластичної деформації згаданих деталей.

3) Для отримання секційних гвинтових спіралей із малим кроком витків ( $T/D < 0,5$ ) спостерігається збіжність експериментальних та розрахункових даних щодо геометричних параметрів кільцевих секторних заготовок.

4) При використанні способу розтягування кільцевої секторної заготовки за її кінці похибку в геометричні параметри має деформації в місцях закріплення.

5) При формування секційної гвинтової спіралі різними технологічними методами має місце неспівпадання центрів радіусів кривини огинаючих циліндрів зовнішньої та внутрішньої крайок витка. Це спричинено різною ступінню деформації витка за його довжиною. Тому для підвищення

точності виконання секційної гвинтової спіралі деформації кільцевої секторної заготовки необхідно здійснювати в декілька етапів у кожному з яких необхідно відводити інструмент в початкове положення та здійснювати повертання оброблюваної заготовки.

6) Найбільшу точність розмірів забезпечує спосіб отримання секційної гвинтової спіралі при інкрементальному формуванні такої заготовки з поступовим переміщенням інструментів за довжиною витка. Такий спосіб особливо виправданий у випадку формування витків із незначною їх стійкістю через значну їх ширину.

7) Виконання розгортки витків секційної гвинтової спіралі на основі модулів побудови розгортки гвинтових поверхонь у різних програмних продуктах співпадає з класичними методиками розрахунку таких початкових заготовок. однак при значних значеннях кроку витків має місце розходження експериментальних та розрахункових даних.

8) При формоутворення секційної гвинтової спіралі необхідно враховувати пружинення отриманої заготовки, внаслідок якого виникають похибки діаметральних розмірів та кроку витка такої заготовки.

9) Експериментальні значення діаметрів кільцевої секторної заготовки для варіантів її виконання у формі розрізної шайби та у формі кільцевого сектора відрізняються для одного і того ж розміру секційної гвинтової спіралі. У той час як згідно відомих аналітичних залежностей (формули 2.6-2.7) такі діаметри однакові для вибраного розміру секційної гвинтової спіралі.

10) Порівняння експериментальних даних з результатами комп'ютерного моделювання процесу формування секційної гвинтової спіралі з кільцевих секторних заготовок показує наявність розбіжностей в межах до 12-16%. Тому при проектуванні такого ТП для отримання широковиткових секційних гвинтових спіралей зі значенням коефіцієнта кроку витка понад 0,6 од. необхідно здійснювати попереднє комп'ютерне моделювання такого процесу.

**4.** Результати наукових досліджень тезисно викладені в матеріалах конференції [29] в Національному університеті “Одеська політехніка”.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Creating a 3D model. Study guides for lab classes № 4 in the “CAM and CAE Systems of Machine Building Production“ course. Editors: Vasylykiv V., Danylchenko L., Radyk D. – Ternopil: Ternopil National Ivan Puluj Technical University, 2021. – 40 p.

2. Creating a parametric drawing in the automatic parameterization mode. Study guides for lab classes № 3 in the “CAM and CAE Systems of Machine Building Production“ course. Editors: Vasylykiv V., Danylchenko L., Radyk D. – Ternopil: Ternopil National Ivan Puluj Technical University, 2021. – 28 p.

3. Creating Parametric Drawing. Study guides for lab classes № 2 in the “CAM and CAE Systems of Machine Building Production“ course. Editors: Vasylykiv V., Danylchenko L., Radyk D. – Ternopil: Ternopil National Ivan Puluj Technical University, 2021. – 38 p.

4. Sketching by Non-parametric Drawing. Study guides for lab classes № 1 in the “CAM and CAE Systems of Machine Building Production“ course. Editors: Vasylykiv V., Danylchenko L., Radyk D. – Ternopil: Ternopil National Ivan Puluj Technical University, 2021. – 28 p.

5. Vasylykiv V., Danylchenko L., Radyk D. Technological methods of workpieces manufacturing. Metal Casting: Manual / V. Vasylykiv, L. Danylchenko, D. Radyk. Edited by L. Dzhydzhora. – Ternopil: Vector, 2021. – 203 p.

6. Vasylykiv V., Pylypets M., Danylchenko L., Radyk D. (2021) Use of computer-integrated technologies in training of engineering specialists. In: Ternopil National Ivan Puluj Technical University, Proceedings of the International Conference Advanced Applied Energy and Information Technologies, Ternopil, December 15-17, 2021, pp. 74-80.

7. Боженко Л. І. Технологія виробництва заготовок у машинобудуванні. Київ: НМК ВО, 1990. 264 с.

8. Васильків В. В. Розвиток науково-прикладних основ розроблення технологій виробництва гвинтових і шнекових заготовок з використанням

уніфікації : автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук : 05.02.08 – технологія машинобудування / Василь Васильович Васильків ; Міністерство освіти і науки України, Національний університет “Львівська політехніка”. – Львів, 2015. – 48 с.

9. Васильків В. Методи розрахунку розгортки витків штампозварних гвинтових спіралей /В.Васильків //Вісник ХНТУСГ ім. П. Василенка: «Технічний сервіс АПК, техніка та технології у сільськогосподарському машинобудуванні»: - видавництво ХНТУСГ. – 2010. – Вип. 92. – С.421-433

10. Васильків В.В. Технології виготовлення секційних гвинтових спіралей // В.В. Васильків / Зб. наук. праць КНТУ. Техніка в сільськогосподарському вироб-ництві, галузеве машинобудування, автоматизація. – Вип. 25. – 2012. – Ч.2 – С. 334-342.

11. Васильків В.В., Пилипець М.І., Данильченко Л.М., Радик Д.Л. (2021) Параметрична стандартизація гвинтових і шнекових заготовок. Перспективні технології та прилади, 2021. №19. С. 151-160. Режим доступу: <https://eforum.lntu.edu.ua/index.php/jurnal/article/view/745>; DOI: <https://orcid.org/0000-0002-9166-3322>.

12. Васильків, В.В. Исследование особенностей использования деталей типа шнеков, полученных из винтовых и шнековых заготовок [Текст] / В.В. Васильків // Новые материалы и технологии в машиностроении. – Брянск: БГИТА – Вып. 19. – 2014. – С. 27 – 31.

13. Васильків, В.В. Обобщенная технологическая схема изготовления сборно-сварных деталей типа шнеков / Васильків В.В., Андрухив А.Н. / Матер XI Международной научно-практической конференции “Перспективные научные исследования”. - София: Изд-во ООД «Бял ГРАД-БГ», 2017.

14. Гергет О.Д. Общий метод расчета плоских заготовок витков прямых и косых геликоидов / О.Д. Гергет // Вестник машиностроения. – 2001. – № 5. – С. 18 - 21.

15. Справочник конструктора штампов: Листовая штамповка / Рудман Л.И. – М.: Книга по Требованию, 2013. – 494 с. ISBN 978-5-458-30022-3.

16. Експериментальні дослідження в технології машинобудування: навч.

пос. з дисц. "Наукові дослідження і теорія експерименту". / [уклад. Васильків В.В., Радик Д.Л.]. – Тернопіль: Вид-во ТНТУ ім. І. Пулюя, 2012. – 256 с.

17. Елисеєва М.В., Елисеєв І.С. Математическая модель развертки витка шнековой спирали. Современные инструментальные системы, информационные технологии и инновации. сборник научных трудов XII-ой Международной научно-практической конференции: в 4-х томах. Ответственный редактор: Горохов А.А., 2015. С. 78-81.

18. Железков В. Н. Винтовые сваи в энергетической и других отраслях строительства. Монография. СПб изд. Дом Прагма, 2004. – 128 с. - ISBN: 5-902631-01-7 978-5-902631-01-9.

19. Жидецький В.Ц. Практикум із охорони праці : навчальний посібник. Львів: Афіша, 2000. 349 с.

20. Жидецький В.Ц., Джигирей В. Ц., Мельников О. В. Основи охорони праці : навчальний посібник. Львів: Афіша, 2000. 350 с.

21. Медведев В.С. Изготовление лопастей шнеков методом горячей штамповки с последующей сваркой / В. С. Медведев, Н. А. Разиньков // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением. – 2012. – № 9. – С. 16-20.

22. Медведев В.С. Технология изготовления лопастей шнеков штамповкой / В.С. Медведев, Разиньков Н.А. / Вестник НТУ «ХПИ». Темат. выпуск «Новые решения в современных технологиях». – №42. – 2011. – С.147-153

23. Некрасов С.С. Технология сельскохозяйственного машиностроения (Общий и специальный курсы): Учеб. пособие / С.С. Некрасов (ред.). И.Л. Приходько, Л.Г. Баграмов. – М.: Колос, 2004. – 360с. – ISBN 5-9532-0148-6.

24. Орлова П. Н., Скороходова Е. А. Краткий справочник металлиста. М.:Машиностроение, 1986. 456 с..

25. Пилипець М.І. Проектування секційних гвинтових спіралей/ М.І. Пилипець, В.В. Васильків. – Тернопіль: Вид-во ТНТУ ім. І. Пулюя, 2013. – 180 с. – ISBN 978-966-305-046-1.

26. Пилипець, М.І. Узагальнений технологічний процес виготовлення

гвинтових і шнекових заготовок / М.І. Пилипець, В.В. Васильків // Вісник інженерної академії України. – 2014. – Вип. 1. – С.192 – 200.

27. Терміни та визначення в технічній творчості та наукових дослідженнях. Методичний посібник / [Уклад. Пилипець М.І, Васильків В.В., Радик Д.Л.] – Тернопіль: Вид-во ТНТУ імені Івана Пулюя, 2011. – 256 с.

28. Технологічні основи формотворення різнопрофільних гвинтових спіралей /Б.М. Гевко, М.І. Пилипець, В.В. Васильків, Д.Л. Радик. – Тернопіль: Вид-во ТДТУ ім. І. Пулюя, 2009. – 457 с. – ISBN 966-305-014-4.

29. Vasyl Vasykiv, Larysa Danylchenko, Dmytro Radyk, Vladyslav Paraschuk, Mykhailo Vasylyk, Andriy Hrytsyna (2022) ACCURACY OF SCREW FLIGHTS In: Odesa Polytechnic National University, Materials of the international scientific and technical conference "New and unconventional technologies in resource and energy saving", Odesa, November 24-25, 2022, pp. 27-29