

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ТЕРНОПІЛЬСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІМЕНІ ІВАНА ПУЛЮЯ**

**ГУПКА АНДРІЙ БОГДАНОВИЧ**

**УДК 621.9.04; 621.941**

**ТЕХНОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВИГОТОВЛЕННЯ СТРІЧКОВИХ  
ГВИНТОВИХ ЗАГОТОВОК З ВИГНУТИМ ПРОФІЛЕМ**

05.02.08 – технологія машинобудування

Дисертація на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Науковий керівник:  
Гевко Іван Богданович  
доктор технічних наук,  
професор  
Тернопільський національний  
технічний університет  
імені Івана Пулюя

Тернопіль - 2016

## ЗМІСТ

<b>ВСТУП.....</b>	<b>5</b>
<b>РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ І УЗАГАЛЬНЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ ФОРМОУТВОРЕННЯ ПРОФІЛЬНИХ ГВИНТОВИХ ЗАГОТОВОК.....</b>	<b>10</b>
1.1. Загальна характеристика гвинтових спіралей з вигнутим профілем та сфери їх застосування .....	10
1.2. Аналіз способів і технологічного спорядження для виготовлення гвинтових профільних заготовок.....	17
1.2 Фактори, що впливають на технологічні процеси холодного та гарячого деформування.....	23
1.4 Аналіз результатів теоретичних досліджень формоутворення навивних гвинтових заготовок .....	27
1.5 Аналіз процесів токарної обробки профільних гвинтових заготовок.	30
1.6. Висновки і задачі досліджень.....	33
<b>РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНІ ПЕРЕДУМОВИ ПРОЕКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ГВИНТОВИХ ЗАГОТОВОК З ВИГНУТИМ ПРОФІЛЕМ.....</b>	<b>35</b>
2.1. Дослідження силових параметрів формоутворення навивних гвинтових заготівок з вигнутим профілем.....	35
2.2. Дослідження силових параметрів процесу формоутворення полочки на гвинтовій заготовці.....	42
2.3. Дослідження силових параметрів процесу проточування гвинтових заготовок з вигнутим профілем.....	51
2.4 Висновки.....	62
<b>РОЗДІЛ 3. ПРОГРАМА І МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕННЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ВИГНУТОГО ПРОФІЛЮ НА ГВИНТОВІЙ ЗАГОТОВЦІ.....</b>	<b>64</b>

3.1. Програма експериментальних досліджень.....	64
3.2. Методики і технологічне устаткування для проведення процесу формоутворення вигнутого профілю на гвинтовій заготовці.....	64
3.2.1. Методика проведення процесу формоутворення вигнутого профілю на гвинтовій заготовці при використанні шнекової оправки..	65
3.2.2. Методика проведення процесу формоутворення вигнутого профілю на гвинтовій заготовці формувальним роликком.....	67
3.3. Методика досліджень зусиль формоутворення вигнутого профілю на гвинтовій заготовці з використанням повнофакторного експерименту.....	71
3.4. Методика дослідження процесу проточування зовнішньої крайки вигнутого профілю гвинтової заготовки.....	79
3.5. Стендове обладнання для проведення експериментальних досліджень.....	81
3.5. Висновки.....	83
<b>РОЗДІЛ 4. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ПРОЦЕСУ ФОРМОУТВОРЕННЯ ВИГНУТОГО ПРОФІЛЮ НА ГВИНТОВІЙ ЗАГОТОВЦІ.....</b>	<b>84</b>
4.1. Результати експериментальних досліджень процесу формоутворення вигнутого профілю на стрічковій гвинтовій заготовці..	84
4.2. Графоаналітичні результати експериментальних досліджень зусилля процесу формоутворення вигнутого профілю.....	87
4.3. Результати експериментальних досліджень процесу проточування гвинтової поверхні після формоутворення вигнутого профілю.....	99
4.4. Результати порівняння теоретичних і експериментальних досліджень гнуття полички з визначенням їх силових параметрів.....	105
4.5. Висновки.....	108

<b>РОЗДІЛ 5. ПРОЕКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО УСТАТКУВАННЯ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ВИГНУТОГО ПРОФІЛЮ НА ГВИНТОВІЙ ЗАГОТОВЦІ ТА ВИКОРИСТАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ У ВИРОБНИЦТВІ .....</b>	<b>110</b>
5.1 Комп'ютерне моделювання гвинтової стрічкової заготовки з вигнутим профілем та визначенням силових параметрів процесу її формоутворення.....	110
5.2 Інженерна методика проектування гвинтових стрічкових заготовок з вигнутим профілем.....	113
5.3 Технологічні методи підвищення експлуатаційної надійності та довговічності гвинтових робочих органів.....	118
5.4 Дослідження процесу розточування профільних гвинтових заготовок.....	122
5.5 Перспективні пристрої для виготовлення гвинтових елементів та їх дослідження.....	125
5.6 Техніко-економічне обґрунтування вибору способу виготовлення гвинтових спіралей з вигнутим профілем.....	128
5.7 Висновки.....	132
<b>ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....</b>	<b>134</b>
<b>СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....</b>	<b>138</b>
<b>ДОДАТКИ.....</b>	<b>150</b>



## ВСТУП

**Актуальність теми.** До основних задач технології машинобудування відносять розроблення прогресивних технологічних процесів, підбір адекватного технологічного обладнання й спорядження, відпрацювання на технологічність конструкцій деталей механізмів і машин, що сприяє зростанню продуктивності та підвищенню ефективності технологічних процесів виготовлення, покращенню якості продукції та зумовлює пошук нових високоефективних технологій.

Серед гвинтових робочих органів важливе місце займають стрічкові гвинтові заготовки (ГЗ) із вигнутим профілем, які широко використовуються в конструкціях багатьох транспортно-технологічних механізмів, таких як транспортуючі та очисні шнеки, гвинтові сепаратори і спуски тощо. Незважаючи на значну кількість наукових праць, які присвячені виробництву ГЗ, на теперішній час не розроблено прогресивних способів отримання стрічкових ГЗ із вигнутим профілем, а існуючі технології їх виготовлення в основному реалізуються універсальними засобами технологічного устаткування, спорядження та інструментів. У зв'язку з цим, **актуальним є** завдання технологічного забезпечення навивання стрічкових ГЗ з вигнутим профілем, що відповідає сучасним вимогам за продуктивністю, матеріало- та енергомісткістю з високими техніко-економічними показниками.

### **Зв'язок роботи з науковими програмами, планами і темами.**

Робота виконана в Тернопільському національному технічному університеті імені Івана Пулюя згідно напряму наукових досліджень кафедри технології машинобудування і зокрема теми №ДІ204-13 «Розробка та впровадження енергоефективних конструкцій та ресурсозберігаючих технологій виготовлення смугових гвинтових спіралей енергетичних установок» (номер державної реєстрації 0113U000255)

**Мета роботи і задачі дослідження:** *Мета роботи* – розроблення та реалізація технологічного процесу та устаткування для підвищення ефективності виготовлення стрічкових ГЗ із вигнутим профілем.

Для досягнення мети в роботі поставленні і вирішені наступні **задачі:**

- провести аналіз відомих технологій виготовлення стрічкових ГЗ із вигнутим профілем і розробити наукову концепцію технологічного забезпечення одержання таких деталей, що відповідає сучасним вимогам за технологічною собівартістю, матеріало- та енергомісткістю;

- вивести аналітичні залежності для визначення основних силових параметрів формоутворення вигнутого профілю на стрічкових ГЗ в залежності від їх конструктивних параметрів;

- розробити динамічну модель процесу проточування зовнішньої крайки вигнутого профілю стрічкової ГЗ з визначенням силових характеристик і режимів різання та встановити характер зміни навантажень на складові технологічної системи;

- спроектувати і виготовити відповідне технологічне устаткування та інструмент для формоутворення вигнутого профілю на стрічковій ГЗ та проточування її зовнішньої крайки;

- провести комплекс експериментальних досліджень для визначення основних конструктивних та силових параметрів процесів формоутворення вигнутого профілю на стрічковій ГЗ та проточування її зовнішньої крайки;

- розробити інженерну методику проектування технологічного устаткування для формоутворення вигнутого профілю на стрічковій ГЗ з подальшим впровадженням у виробництво результатів досліджень.

**Об'єкт дослідження** – технологічні процеси формоутворення вигнутого профілю на стрічковій ГЗ та проточування її зовнішньої крайки.

**Предмет дослідження** – технологічне устаткування та інструмент для формоутворення вигнутого профілю на стрічковій ГЗ і проточування її зовнішньої крайки, закономірності впливу їх параметрів на силові характеристики формоутворюючих процесів.

**Методи дослідження.** Теоретичні дослідження проведенні із застосуванням фундаментальних засад технології машинобудування, методів механіко-математичного моделювання, інженерної творчості, опору матеріалів, теорії пружності та інформатики. Експериментальні дослідження здійснено за допомогою методів математичного планування експерименту з використанням комп'ютерної техніки і прикладного програмного забезпечення та стандартних методик із застосуванням спеціально спроектованого та виготовленого технологічного устаткування та інструменту.

**Наукова новизна одержаних результатів:**

- вперше виведено теоретичні залежності для визначення силових параметрів формоутворення стрічкових ГЗ із вигнутим профілем від їх конструктивних параметрів, матеріалу заготовки, методів формоутворення полицки за допомогою формувального інструменту та устаткування;

- вперше виведено аналітичні залежності розрахунку складових зусиль процесу формоутворення вигнутого профілю на стрічковій ГЗ в гарячому та холодному станах методом навивання на оправу профільної стрічки;

- набуло подальшого розвитку розроблення динаміки процесу проточування зовнішньої крайки стрічкової ГЗ з вигнутим профілем, яка дає змогу визначити основні параметри процесу різання та встановити характер зміни величин деформацій складових технологічної системи;

- встановлено величину напруження в зоні пластичної деформації вигнутого профілю та визначено енергосилові й конструктивні параметри сформованої полицки в залежності від кута нахилу полицки, товщини витка спіралі, ширини полицки та матеріалу ГЗ.

**Практичне значення одержаних результатів.** На основі реалізованих математичних моделей розроблено методики визначення конструктивних, кінематичних і технологічних параметрів процесу формоутворення стрічкових ГЗ із вигнутим профілем.

Розроблено новий технологічний процес формоутворення стрічкових ГЗ із вигнутим профілем. Спроековано і виготовлено конструкцію формувального устаткування та робочого інструменту для виготовлення вигнутого профілю на стрічковій ГЗ, експериментально підтверджено теоретичні залежності для визначення впливу конструктивних і технологічних параметрів на процес формоутворення.

Технічну новизну одержаних результатів захищено 4 деклараційними патентами України на корисні моделі. Отримані наукові та практичні результати, методики й рекомендації впроваджено у ТДВ «Булат» (с.м.т. Микулинці), НДІ трибології і матеріалознавства Хмельницького національного університету, (м. Хмельницький); передано для впровадження у ПАТ «Червона зірка» (м. Кіровоград), використовуються в навчальному процесі при вивченні дисциплін «Технологія машинобудування» у Тернопільському національному технічному університеті імені Івана Пулюя.

**Особистий внесок здобувача.** Основні положення дисертаційної роботи отримані здобувачем самостійно і опубліковано в одноосібних працях [23, 26, 28]. У працях, опублікованих у співавторстві [18, 19, 20, 22, 24, 25, 27, 103], здобувачеві належать: дослідження силових параметрів формоутворення ГЗ [18, 19, 24, 103], запроновано новий метод очищення дисків копачів шнековими очисниками з Г-подібними спіралями [20], визначенно якісні показники ГЗ з точки зору трибологічної надійності важконавантажених пар тертя [23, 26, 28], розроблення технологічного процесу обробки різанням ГЗ [25].

**Апробація результатів дисертації.** Основні положення та результати роботи доповідались й обговорювались на: науково-практичних конференціях Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя у 2011-2016 рр.; Міжнародній науково-технічній конференції «Фундаментальні та прикладні проблеми сучасних технологій» (Тернопіль, 2015 р.); Всеукраїнській студентській науково-технічній конференції «Природничі та гуманітарні науки. Актуальні питання»; Міжнародній

науково-технічній конференції молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій» (Тернопіль, 2011 р., 2012 р., 2014 р., 2015 р.); у Харківському національному технічному університеті сільського господарства імені Петра Василенка (Харків, 2014 р., 2016 р.); у Луцькому національному технічному університеті 2013-2014 рр.; у Львівському національному аграрному університеті (Дубляни, 2014 р.); Міжнародному симпозиуму ISB - INMA TEN «Сільсько-господарська і механічна інженерія» (Бухарест, 2015 р.). Робота доповідалась й отримала позитивний відгук на розширеному засіданні науково-технічного семінару Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя.

**Публікації.** Результати наукових досліджень викладено у 16 наукових працях, з них – 8 статей у фахових виданнях, одна з яких входить до міжнародних наукометричних баз Argo та Index Copernicus, 4 деклараційні патенти України на корисні моделі, 4 тез наукових конференцій.

**Структура та обсяг дисертації.** Дисертація складається із вступу, 5 розділів, загальних висновків, списку використаних літературних джерел із 124 найменувань та 4 додатків. Загальний обсяг дисертації 201 сторінка, в тому числі 149 основного тексту, 66 рисунків, 14 таблиць.

# РОЗДІЛ 1

## АНАЛІЗ І УЗАГАЛЬНЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ ФОРМОУТВОРЕННЯ ПРОФІЛЬНИХ ГВИНТОВИХ ЗАГОТОВОК

### 1.1 Загальна характеристика гвинтових спіралей з вигнутим профілем та сфери їх застосування

Гвинтові деталі машин та механізмів мають надзвичайно широке використання у різних галузях народного господарства, а гвинтові заготовки з вигнутим профілем (ГЗВП) є їхнім розповсюдженим різновидом. Їх використовують у якості робочих органів гвинтових транспортерів, змішувачів, подрібнювачів, грануляторів, сепараторів, шнекових транспортерів та гвинтових спусків у будівельній, харчовій, переробній промисловості, порошковій металургії, в сільськогосподарських машинах і механізмах, системах вентиляції та теплообмінних системах (рис. 1.1).

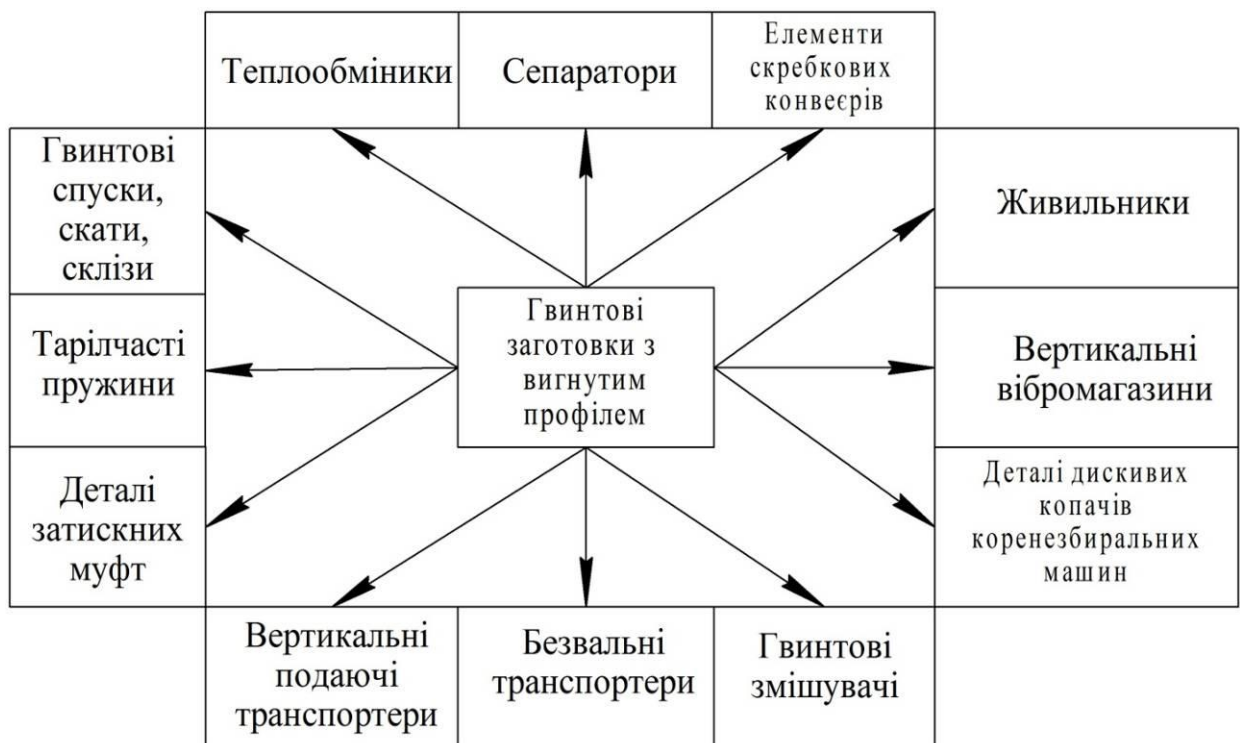


Рис. 1.1. Сфери практичного використання гвинтових заготовок з вигнутим профілем в конструкціях машин і механізмів

На сьогоднішній день виготовлення даних механізмів для різних сфер народного господарства ускладнено відсутністю ефективних технологій формоутворення ГЗВП. Наприклад, освоєно виробництво гвинтових пружин із прямокутним поперечним перерізом витків із співвідношенням  $V/H < 4$  та  $D/V > 4$ , а подальше розширення типорозмірів аналогічних деталей в основному обмежено ускладненням технології їх виготовлення у зв'язку із появою перенапруг внутрішніх волокон витків внаслідок великої кривизни останніх. Використання великогабаритних ГЗВП з тонковиткових гвинтових заготовок (ГЗ) пов'язане з можливістю втрати стійкості витків, в наслідок чого відбувається часте скручування спіралі. Для попередження цього явища використовують ряд конструктивних та технологічних заходів, пов'язаних із підвищенням їх жорсткості при деформації: наварювання накладних елементів, зміцнення периферії спіралі, оптимізація конструкції самої спіралі, тощо, що приводить до значного росту витрат на їх виготовлення.

Сучасний етап розвитку всіх галузей народного господарства вимагає суттєвого поліпшення конструкторсько-технологічних параметрів та експлуатаційних характеристик машин і механізмів, в т.ч. з гвинтовими елементами, які б дозволили суттєво підвищити ефективність виробництва, поліпшити якість продукції, зменшити собівартість її виготовлення. Розв'язання цих проблем потребує глибокого аналізу деталей різних типів, в т.ч. гвинтових, і створення на їх основі більш прогресивних, що вимагає розробку високоефективних технологій їх виготовлення з підвищеними показниками якості, точності, надійності тощо. У зв'язку з цим актуальною є проблема дослідження особливостей конструкторсько-технологічних параметрів та умов експлуатації різновиду ГЗ, зокрема профільних Г-подібних спіралей шнеків, які широко використовуються у транспортно-технологічних системах.

Одним із прикладів використання профільних Г-подібних спіралей шнеків у якості елемента механізму є гвинтовий живильник вібраційного пруткового транспортера [77], в якому за допомогою гвинтового вала 1 (рис. 1.2)

безперервно подається матеріал з бункера 2 у зону транспортування 3. Для проектування нових економічних та високопродуктивних транспортерів важливо виявити функціональні зв'язки між конструктивними параметрами профільних спіралей шнеків, характеристиками транспортуючого матеріалу та характеристиками самого процесу транспортування.

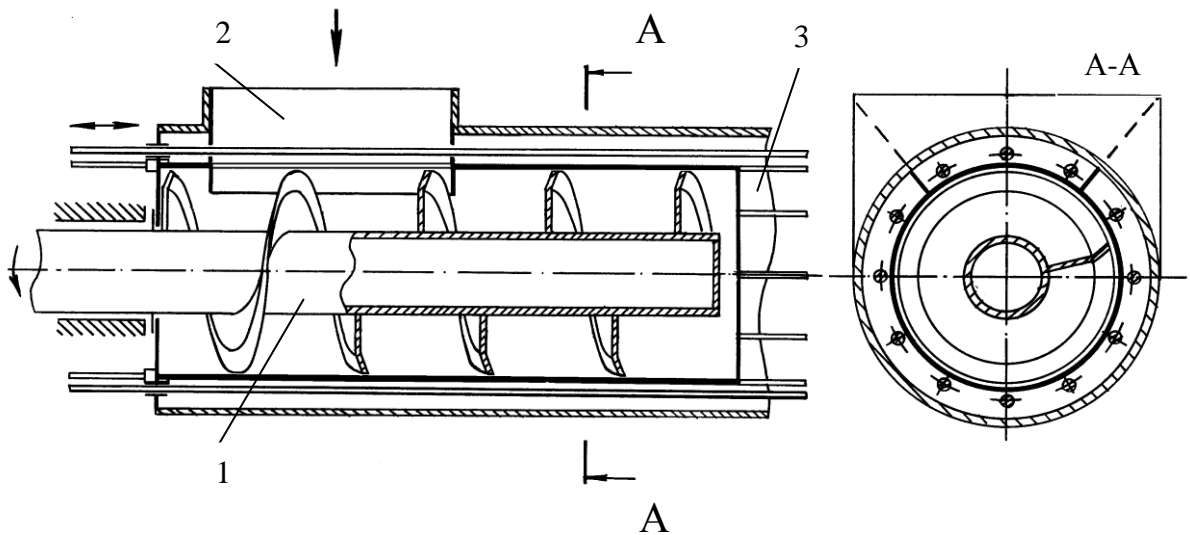


Рис. 1.2. Живильник вібраційного пруткового транспортера

Процес переміщення вантажів шнеками, оснащеними гвинтовими спіралями (ГС), супроводжується тертям транспортованого вантажу по циліндричній поверхні кожуха. За таких умов на величину сили подолання опору переміщення матеріалу та на можливість його заклинювання між витком спіралі й стінкою кожуха впливає кут нахилу гвинтової спіралі  $\mu$  у її поперечному перерізі. З цієї точки зору найбільш доцільно використовувати спіраль з нахилом уперед її зовнішнього контуру порівняно з внутрішнім, оскільки вектор нормальної сили між витком і кожухом  $\bar{N}_1$ , що діє на вантаж з боку витка, спрямований від дотичної до кожуха під кутом  $\gamma_1$  (рис. 1.3 а). У ГС, спрямованій радіально, ця сила перетинається з дотичною під кутом  $\gamma_2$  (рис. 1.3 б), що має невелике значення, а в спіралі, зовнішній контур якої нахилений назад, порівняно з внутрішнім (рис. 1.3 в), вектор сили перетинається з дотичною під значним кутом  $\gamma_3$  (якщо величина кута  $\gamma_1$  близька або дорівнює куту  $\varphi_T$  тертя, виникає значне заклинювання).



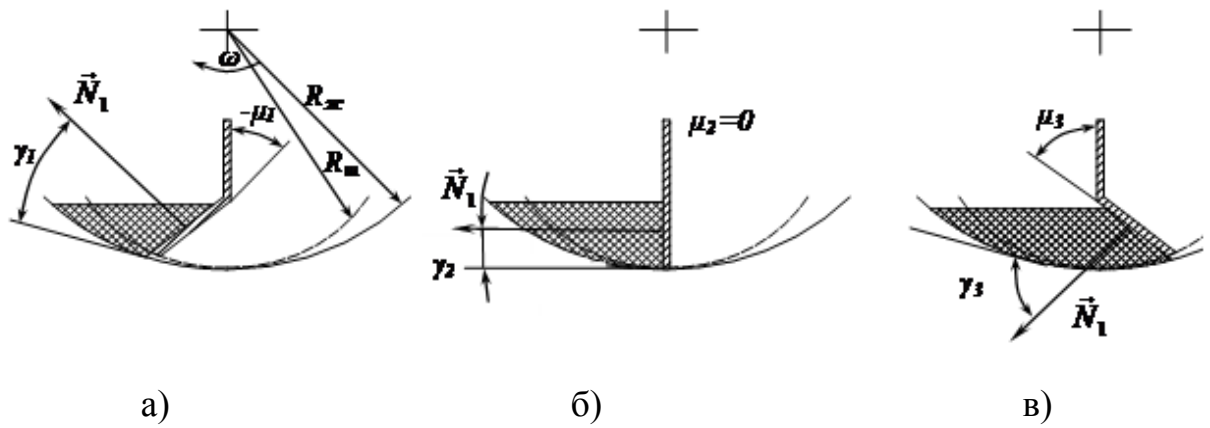


Рис. 1.3. Розрахункові схеми для визначення впливу кута нахилу гвинтової спіралі в її поперечному перерізі на процес заклинювання матеріалу:  
 а) нахил спіралі у напрямку транспортування; б) радіальна спіраль; в) нахил спіралі у протилежному напрямку до напрямку транспортування

ГЗ мають широке застосування в різноманітних технічних системах, що зумовлено особливостями їх геометричної будови. У порівнянні із звичайними спіралями, ГЗВП мають більшу жорсткість на згин в осьовому напрямку і площу поверхні. Основні сфери їх застосування представлено нижче.

Скребкові конвеєри фірм ПАТ «Конвеєр» S&V (Україна), оснащені тарілчастими скребками для транспортування матеріалу (рис. 1.4), які виготовляють штампуванням, або навиванням ГЗВП з подальшими операціями розгинання та зварювання. Виконання скребків тарілчастої

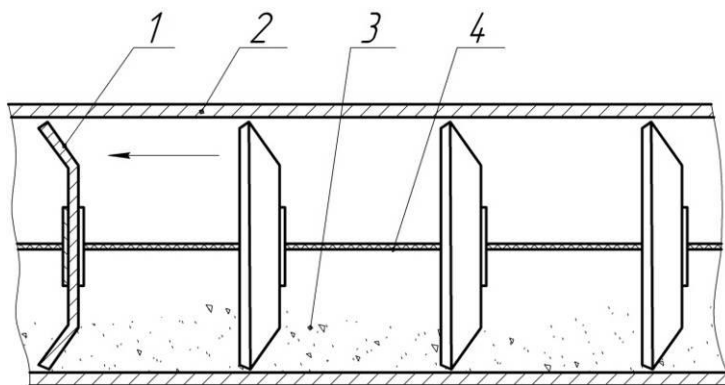


Рис. 1.4. Скребковий конвеєр:  
 1 - тарілчастий скребок; 2 - кожух;  
 3 - транспортуючий матеріал;  
 4 - тяговий канат

форми дає змогу більш ефективно транспортувати матеріал у вертикальних скребкових конвеєрах, тому, що скребки нещільно прилягають до кожуха, а поличка скребка не дає можливості матеріалу висипатися.

Безвальні шнекові транспортери (рис. 1.5) розроблено для транспортування сухих та в'язких, сипких і кускових матеріалів. За рахунок виконання на ГЗВП 1 жорсткість робочого органу [123] збільшується, що, в свою чергу, збільшує ресурс роботи механізму.

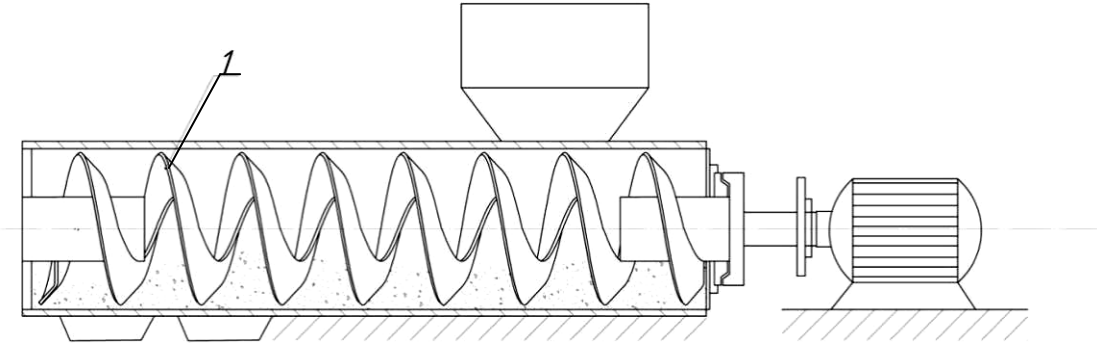


Рис. 1.5. Схема безвального шнекового транспортера

На (рис.1.6) зображено схему резонансного вертикального вібромагазину, призначеного для розміщення кількох сотень об'єктів складання [9]. Вібромагазин складається з труби 1, на зовнішній циліндричній поверхні якої виконано синхронну канавку з кроком  $t$ , в яку вгвинчено Г-подібну спіраль 2, що виконує роль гвинтового лотка. Трубу 1 закріплено на вібраційному механізмі 3, який надає трубі 1 з гвинтовим лотком 2 кутові коливання.

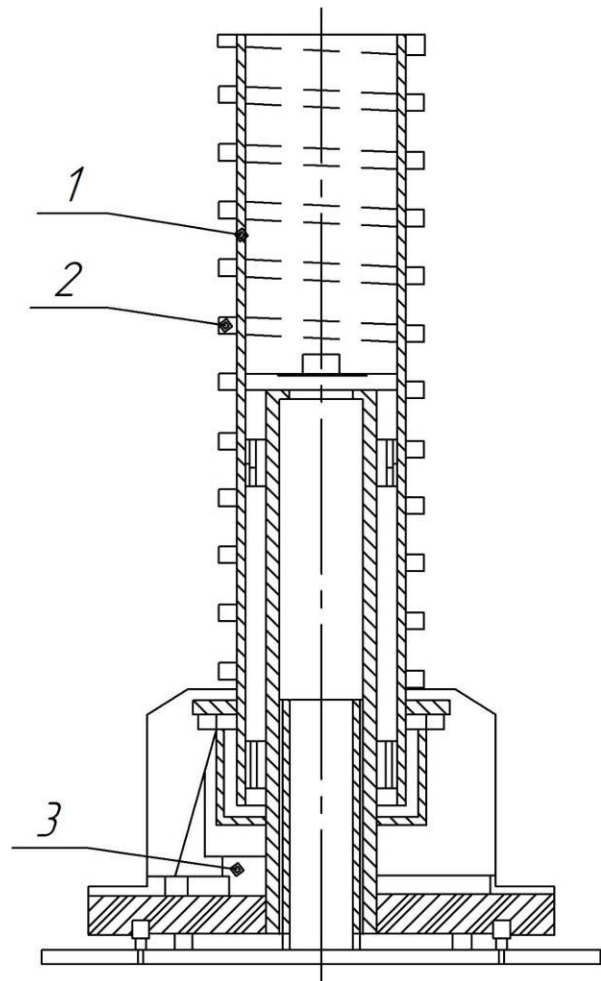


Рис. 1.6. Схема резонансного вертикального вібромагазину

В багатьох галузях промисловості використовується різноманітні механізми очищення від домішок товарного продукту. До числа самих простих і ефективних з яких відносяться гвинтові сепаратори, які дозволяють класифікувати продукт по його формі, щільності, коефіцієнту тертя тощо. В конструкціях гвинтових спіральних сепараторів (рис. 1.7) передбачають, як правило, наявність Г-подібної спіралі, в якій граничний бортик спіралі використовується для запобігання вильоту частинок.

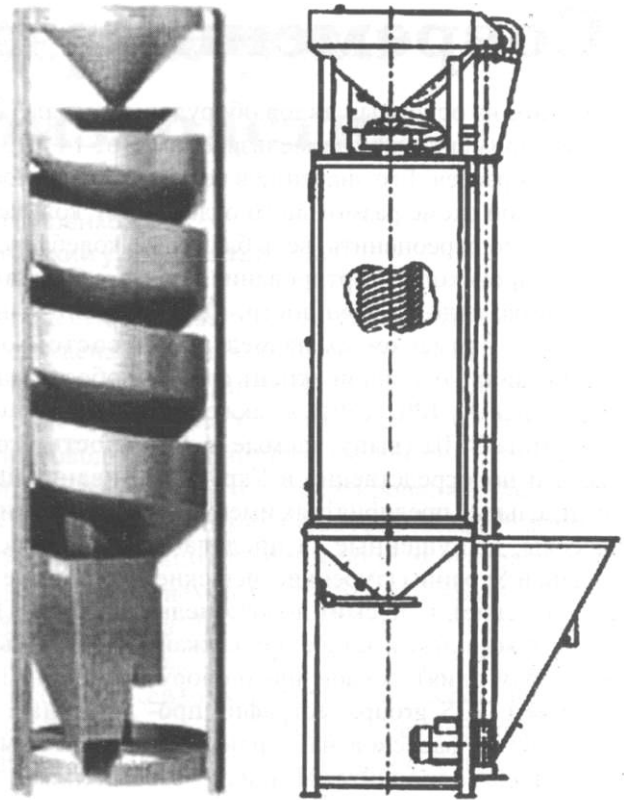


Рис. 1.7. Спіральний сепаратор фірми Seedburo Equipment Company

Шнекові пресувальники фірми Wastemaster gsp. (рис. 1.8) використовуються для ущільнення відходів після просіювання. Їх розроблено для поєднання функції виділення твердих часток зі стічних вод та ущільнення і зневоднення отриманих відходів. Шнек у пресувальнику виконано вигнутого Г-подібного профілю.



Рис. 1.8. Загальний вигляд шнекового пресувальника фірми Wastemaster gsp.

Широко використовуються ГЗВП у якості затискних елементів, приклад якого представлено на рис. 1.9. Гвинтову затискну спіраль [115], з вигнутим профілем виконано у вигляді гвинта з вертикальною ребровою частиною 1, яка по зовнішньому діаметру сформована у нахилену спіраль 2

з кутом нахилу до ребрової вертикальної частини 1. Рівномірно по колу зовнішнього діаметру  $D$  нахиленої спіралі 2 виконано наскрізні пази 3, довжиною рівною ширині нахиленої частини, і шириною більшою товщини витка

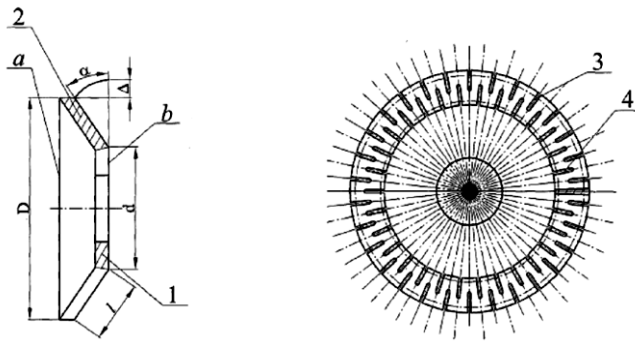


Рис. 1.9. Гвинтова затискна спіраль

спіралі. Крім цього, аналогічні наскрізні пази 4 виконано на її внутрішній гвинтовій вертикальній ребровій частині, які розміщені рівномірно по колу між зовнішніми наскрізними пазами 3.

Використовуються ГЗВП у теплообмінниках спірального типу (рис.1.10) [117].

Камери передачі тепла складаються з 2-ох гвинтових спіралей, одна з яких виконана з вигнутою поверхнею, а інша лінійною. Таким чином конструкція, яка складається з двох профільних гвинтових заготовок 1 та 2, дає змогу утворити пустотілу гвинтову спіраль 3, по якій всередині утвореної ємності переміщається за допомогою обертальних рухів рідина 4.

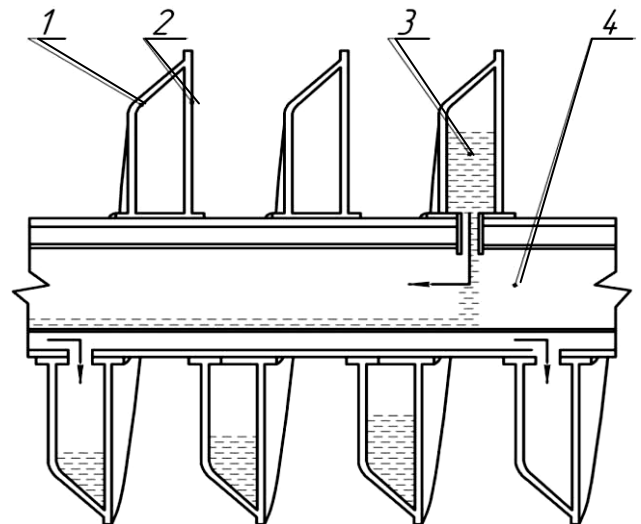


Рис. 1.10. Теплообмінник спірального типу

Отже, можна зробити висновок про те, що ГЗВП знайшли широке застосування за рахунок виконання особливих функцій, а в порівнянні із звичайними шнеками мають ще й суттєві переваги з точки зору жорсткості, що зумовлено наявністю в їх конструкції гофрованої поверхні на внутрішньому діаметрі. Це дозволяє застосувати стрічку меншої товщини, яка, в свою чергу, краще піддається деформації при менших зусиллях.

## **1.2 Аналіз способів і технологічного спорядження для виготовлення гвинтових заготовок**

При виготовленні ГЗ необхідно розглянути, проаналізувати й вибрати один із основних способів її формоутворення із заданими конструктивними параметрами. Виготовлення ГЗВП відрізняється від існуючої технології виготовлення типових циліндричних прямих спіралей тим, що існує необхідність у створенні додаткової полички під певним кутом (від  $1^\circ$  до  $60^\circ$ ), що вимагає використання або спеціального устаткування та інструменту або виконання додаткових технологічних операцій.

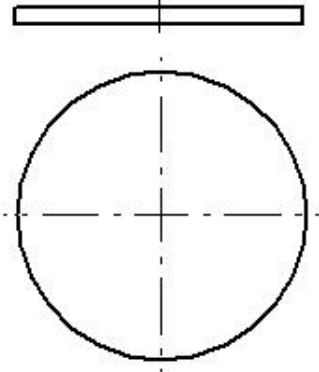
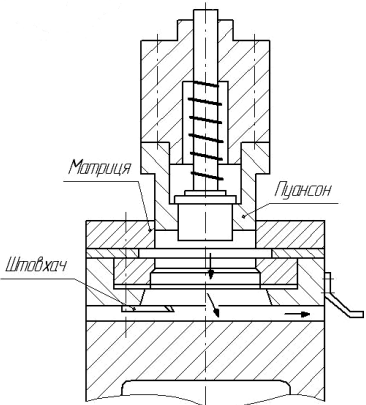
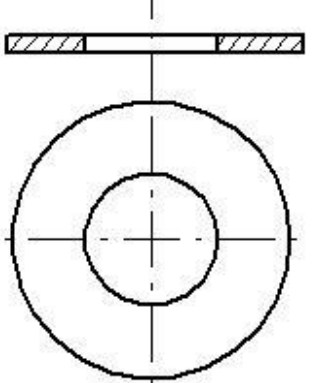
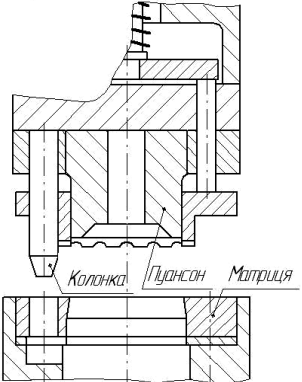
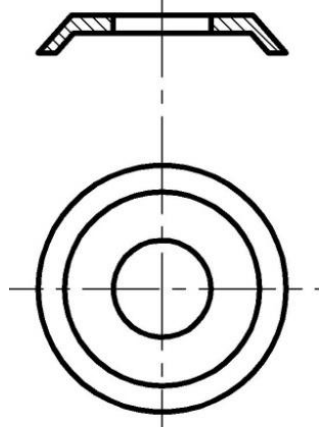
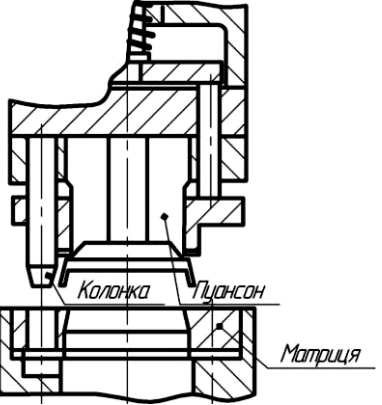
Виготовлення ГЗВП можливе наступними способами:

- а) штампуванням кілець з вигнутим зовнішнім контуром з наступним зварюванням їх у спіраль;
- б) прокатуванням циліндричної прямої спіралі з подальшим приварюванням полички під необхідним кутом ( $1^\circ - 60^\circ$ );
- в) навиванням циліндричної прямої спіралі з подальшим приварюванням полички під необхідним кутом ( $1^\circ - 60^\circ$ );
- г) навиванням із смугових заготовок на ребро спіралі одночасно із формуванням полички під певним кутом ( $1^\circ - 60^\circ$ );
- д) навиванням із смугових заготовок на ребро спіралі з подальшою операцією гнуття полички під певним кутом ( $1^\circ - 60^\circ$ );
- е) навиванням спіралі з профільних Г-подібних заготовок на ребро при завчасному формуванні полички під певним кутом ( $1^\circ - 60^\circ$ ).

Інші способи виготовлення Г-подібних спіралей є неможливими або непродуктивними, тому, що призводять до значних перевитрат енергії, праці, часу, а також характеризується значним ускладненням технологічного процесу виготовлення ГЗВП.

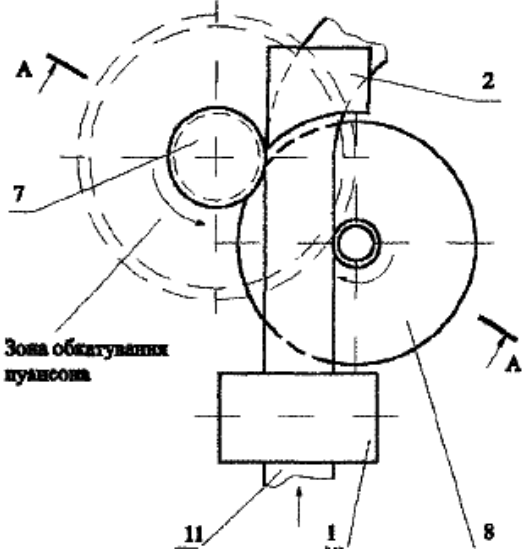
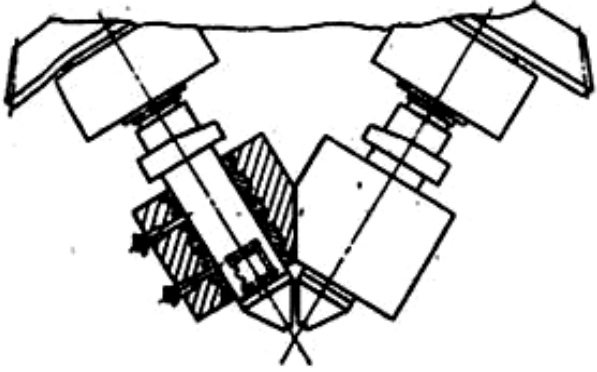
Вибір устаткування й спорядження для виготовлення ГЗВП зумовлений кінематикою процесу який повинен забезпечувати формоутворення ГЗ із заданими конструктивними параметрами, необхідною точністю та якістю. В таблиці 1.1 представлено схеми штампів для виготовлення ГЗВП.

Схеми штампування для виготовлення ГЗВП

№ п/п	Деталь після штампування	Конструкція штампа
1		
2		
3		

В таблиці 1.2 наведено конструкції пристроїв для виготовлення ГЗВП прокатуванням.

## Пристрої для виготовлення ГЗВП прокатуванням

№	Пристрої для прокатування	Характеристика
1		<p>Пристрій для виготовлення спіралей шнеків (Пат. № 50280), який складається з механізмів формоутворення спіралі, подачі та відгинання. Недоліком такого пристрою є значні енерго-затрати та низька точність при виготовленні спіралей шнеків.</p>
2		<p>Пристрій для виготовлення спіралей шнеків, в якому стрічка нагріта до 940-960°C, пропускається між кінчними валками і звивається в спіраль (одна сторона її стає тонша і довша за іншу), а потім рубається на відрізки необхідної довжини.</p>

Використання способів прокатування і штампування з метою отримання ГЗВП супроводжується значними енергозатратами, що значно погіршує економічні показники отриманих деталей, в порівнянні з навиванням. Прокатування зумовлює низьку точність при виготовленні ГЗ, а тому для виготовлення спіралей малих типорозмірів воно є не ефективним. Також процес вимагає значної кількості типорозмірів роликів для виготовлення спіралей шнеків різних конструктивних параметрів, що робить даний метод нетехнологічним для виготовлення ГЗВП.



В таблиці 1.3 представлено конструкції пристроїв для формоутворення ГЗ з профільного прокату Г-подібної форми методом навивання.

Таблиця 1.3

Пристрої для виготовлення профільних гвинтових заготовок методом навивання

№	Пристрої для навивання	Характеристика
1		<p>В основу пристрою [60] закладена задача розширити технологічні можливості процесу навивання, за рахунок використання відповідної форми робочих роликів, а також змінних формуючих елементів, це дозволяє виготовляти на одному пристрої до 10-15 спіралей шнеків з право чи ліво напрямним Г-подібним поперековим перерізом, різних типорозмірів. Недоліком даного пристрою є те, що на ньому неможливо виготовляти профільні Г-подібні спіралі шнеків різних типорозмірів.</p>
2		<p>Даний пристрій [65] призначений для навивання різнотипних гвинтових заготовок з верхньою та нижньою горизонтальними поличками. Основним недоліком конструкції є відсутність зміни кута нахилу полички та навивання на крок.</p>



1	2	3
3		<p>Даний пристрій [69] навиває профільну гвинтову смугу на ребро за допомогою обтискних роликів. Основним недоліком вказаного пристрою є неможливість неперервного навивання профільних зовнішніх гвинтових стрічок.</p>
		<p>Пристрій [66] для навивання профільних гвинтових заготовок з можливістю одночасного навивання та калібрування на крок. Основний недолік обмежені технологічні можливості і виникнення значних зусиль при навиванні.</p>

Представленні пристрої для навивання ГЗ не забезпечують у повній мірі можливості керування кутом нахилу витка спіралі в її поперечному

перерізі. Проте формоутворення ГЗВП навиванням є технологічно простішим та менш енерго- та матеріалозатратним у порівнянні з отриманням ГЗВП методами штампування чи прокатування (табл. 1.4). Крім цього, процес навивання дає змогу розширити технологічні можливості виготовлення ГЗВП за рахунок використання універсальних пристроїв.

Таблиця 1.4

Технологічна характеристика способів формоутворення  
ГЗВП

№ п/п	Спосіб формоутворення	Коефіцієнт використання матеріалу, К
1.	Штампування кілець Г-подібного профілю з одночасним, чи подальшим їх розрізанням, розгинанням і зварюванням	0,4 - 0,5
2.	Навивання Г-подібних спіралей по внутрішньому торцевому профілю з прямокутних заготовок з одночасним чи наступним формуванням полички	0,9 – 1,0
3.	Прокатування циліндричної прямої спіралі з подальшим приварюванням полички	0,55 - 0,98
4.	Навивання циліндричної прямої спіралі з подальшим приварюванням полички	0,9 – 1,0
5.	Навивання Г-подібних заготовок на ребро при завчасному формуванні полички	0,9 – 1,0

Найбільш раціональними способами виготовлення ГЗВП є їх навивання по внутрішньому торцевому профілю з прямокутних заготовок з одночасним чи подальшим формуванням полички. При цьому забезпечується високий коефіцієнт використання матеріалу й відпадає потреба у виконанні значних зварних з'єднань.

### 1.3 Фактори, які впливають на технологічні процеси холодного та гарячого формоутворення гвинтових заготовок

При проектуванні технологічних процесів виготовлення ГЗВП (вибір відповідного устаткування, і спорядження та інструменту) необхідно враховувати вплив фізико-механічних властивостей матеріалу заготовок, геометричних параметрів деталі та їх співвідношення (конструкція виробу) на процеси деформування згином (утворення полицки) – швидкість та ступінь деформації, температура матеріалу деталі в зоні гнуття, опір деформуванню.

В основу сучасної теорії по розкриттю механізмів пластичної деформації сплавів лягли праці багатьох вітчизняних та зарубіжних вчених [3, 13, 17, 40, 42, 43, 73, 83-85, 86, 88-90, 92, 93]. Велика увага приділена вивченню впливу температури на структурні зміни, які виникають у сплавах (сталях) при термічному та атермічному процесі деформування, зокрема на характеристики міцності, опору деформуванню та інші. Для сплавів вплив зміни температури на основні міцнісні характеристики виведенна відповідна залежність [1.1], відома як закон Курнакова.

$$P_{t_1} = P_{t_2} \cdot e^{a(t_1 - t_2)}, \quad (1.1)$$

де  $P_{t_1}$  - значення міцнісної характеристики при температурі  $t_1$ ;  $P_{t_2}$  - теж саме при температурі  $t_2$ ;  $a$  - температурний коефіцієнт, постійний для даного сплаву.

Крім цього використовують також інші аналітичні залежності між температурою та опором деформації, хімічним складом сталей. Для розрахунків гарячого формоутворення Екелунд запропонував формулу [37]:

$$\sigma_T = (14 - 0,01t)(1,4 + C + Mn + 0,3Cr), \quad (1.2)$$

де  $t$  - температура, °C;  $C$ ,  $Mn$ ,  $Cr$  - вміст вуглецю, марганцю й хрому, %.

Дану формулу рекомендують застосовувати для сталі з вмістом не більше 1% Mn та не більше 2-3% Cr і для температур не нижче 800°C [56].

Для практичних розрахунків зусиль холодного й гарячого формоутворення опір деформуванню в залежності від хімічного складу й температури рекомендують визначати за експериментальними даними лабораторних досліджень, які наведені в ряді монографій [42, 57, 73, 83, 85, 89, 92, 123].

Для аналітичного визначення залежності опору деформуванню від температури запропонована формула [15]:

$$\sigma = Me^{-mT}, \quad (1.3)$$

де  $\sigma$  - характеристика міцності металу (границя міцності, твердість, опір деформуванню);  $T$ - абсолютна температура;  $K$ ;  $M$  і  $m$  - константи, які залежать від природи металу.

Для практичних розрахунків залежність (1.3) важко використати тому, що коефіцієнти  $M$  і  $m$  різні для різних металів і сплавів. Тому після логарифмування виразу (1.2) одержимо:

$$\ln \sigma = \ln M - mT, \quad (1.4)$$

М. Врацький і І. Францевич [15] експериментально довели лінійну залежність (1.3) і визначили коефіцієнти  $M$  і  $m$  для сталей, які містять 0,15-0,55% С, для температур в межах 870 - 1300°C:  $\ln M = 6,022$  і  $m = 34,4 \cdot 10^{-4}$ .

В роботах [12, 31, 36, 45, 57, 87, 91] досліджували вплив температури на пластичність. З підвищенням температури пластичність підвищується за рахунок наявності і домішок та неоднорідності структури вихідного сплаву. Під час гарячого деформування одночасно відбуваються процеси, які діють на опір деформуванню в протилежних напрямках: зміцнення (нагартовування) і розміцнення (повернення, рекристалізація), які перебігають у часі з різною швидкістю. Швидкість процесу розміцнення, особливо за схемою рекристалізації, дещо менша, ніж швидкість деформації промислових процесів оброблення. Рекристалізація здійснюється після закінчення деформування, а не під час нього. Отже, чим більша швидкість деформування, тим менше розміцнення, тим більший опір деформуванню.

На опір деформуванню заданої швидкості й температури впливає ступінь деформації. Чим вища ступінь деформації, тим більше зміцнення (нагартування) і вищий опір деформуванню. Визначення впливу ступеня й швидкості деформації на опір деформуванню ускладнюється тим, що із збільшенням ступеня деформації знижується температура розміцнювальних процесів, підвищується вихід тепла й температура заготовки. Загалом збільшення швидкості та ступеня деформації прямо підвищують опір деформуванню. Для якісного визначення впливу швидкості та ступеня деформації на опір деформування виходять із того, що зміцнення пропорційно ступеню деформації  $\delta$ , розміцнення пропорційно приросту опору деформуванню та часу:

$$d\sigma_{\omega} = Dd\delta - A(\sigma_{\omega} - \sigma_0)dt, \quad (1.6)$$

де  $\sigma_0$  - опір деформуванню у вихідному стані;  $\sigma_{\omega}$  - опір деформуванню при відомих швидкості та ступені деформації;  $D$  - коефіцієнт пропорційності, який дорівнює модулю зміцнення;  $A$  - коефіцієнт пропорційності, який дорівнює швидкості розміцнення;  $t$  - тривалість процесу;  $\delta$  - істинна деформація.

Для наближеного визначення впливу швидкості та ступеня деформації запропоновано ряд формул [91]:

$$\sigma_{\omega} = \sigma_0 + m\omega^n; \quad (1.7)$$

$$\sigma_{\omega} = \sigma_0 + ml(\omega / \omega_0), \quad (1.8)$$

де  $m$  і  $n$  - коефіцієнти, які залежать від матеріалу та мають різні значення для різних металів та сплавів.

Зазначені коефіцієнти ускладнюють використання цих формул у практичних розрахунках. С.І. Губкін [16] запропонував користуватись «швидкісними коефіцієнтами», які дозволяють точніше розрахувати опір деформуванню для заданої швидкості, якщо він відомий для іншої.

Багато дослідників намагалися аналітично виявити залежність напруження текучості від швидкості деформації. Найбільшої уваги

заслужують формули, запропоновані П. Людвіком і Рейто [15]:

$$\sigma_s = \sigma_{s0} + n \ln \frac{\varepsilon}{\varepsilon_0}; \quad (1.9)$$

$$\sigma_s = \sigma_{s0} \left( \frac{\varepsilon}{\varepsilon_0} \right)^m, \quad (1.10)$$

де  $\sigma_s$  і  $\sigma_{s0}$  - напруження текучості відповідно при швидкостях деформації  $\varepsilon$ .

С.І. Губкін рекомендує [16] користуватися першою формулою в області температур деформації з повним і неповним зміцненням, а другу застосовувати для температур деформації з повним і неповним розміцненням. Це підтверджується в роботах Л.Д.Соколова [84].

Вплив швидкості та ступеня деформації на пластичність вивчений не достатньо. Звичайно, із підвищенням швидкості та ступеня деформації пластичність зменшується у зв'язку з тим, що не встигають відбутись процеси розміцнення. Проте враховуючи тепловий ефект і зміщення температурного інтервалу перетворень при високих напруженнях, підвищення швидкості деформації може збільшити пластичність.

Вплив швидкості деформації на опір деформуванню досліджувався в роботах [58, 13, 15, 38, 49, 81, 86, 89, 94], які підтверджують, що в процесах холодного згинання розміцнення відсутнє і проходить тільки зміцнення, тобто опір деформуванню не залежить від швидкості. Експерименти доводять незначну залежність, якою в практичних розрахунках нехтують.

Залежність опору деформуванню в умовах гарячого згинання від хімічного складу, температури, швидкості й ступеня деформації дуже складна. Вплив цих факторів на опір деформуванню пропонують розглядати разом. Детально ці залежності розглянуто в роботах [12, 36, 31, 87, 91]. Для практичних розрахунків опір деформуванню, в залежності від впливу різних факторів, визначити аналітично важко, а іноді й неможливо, тому рекомендують користуватись даними лабораторних досліджень цих залежностей. Велика кількість цифрових і графічних даних наведені у

зазначених працях, а також у роботі [16]. В довіднику [74] у вигляді графіків наведені дані А.П. Чекмарьова, Сімса і Кука (Англія), Надаї й Менжойна (США), за якими визначали опір деформуванню досліджуваних у роботі сплавів, в залежності від зазначених факторів.

Підсумовуючи результати досліджень у сфері холодного та гарячого формоутворення можна зробити такі висновки.

Гаряче формоутворення покращує властивості металу, через руйнування первинної литої структури, а рекристалізація, яка проходить при цьому, дозволяє одержати рівновісні зерна бажаних розмірів. Також проходить заповнення пустот, в результаті чого густина металу підвищується, а об'єм зменшується. Завдяки дії механізмів термічної пластичності в процесі гарячого деформування заварюються не лише пустоти та тріщини на межах зерен, але й заліковуються порушення меж, які виникають у процесі деформування. В результаті відбувається подрібнення зерен, ущільнення, підсилення зв'язків між зернами, а параметри міцності та пластичності металу підвищуються.

В процесі холодного деформування в матеріалі стрічки проходять процеси зміцнення волокон матеріалу, що в значній мірі підвищують надійність та довговічність гвинтових заготовок.

#### **1.4 Аналіз результатів теоретичних досліджень формоутворення гвинтових заготовок**

Теоретичні дослідження напружено-деформованого стану процесів формоутворення гвинтових заготовок згинанням розглянуті в ряді робіт [15, 38, 39, 86-88, 90, 94,].

Наукові доробки Г.Я. Гуна [17], М.А.Зайкова [36], А.Д. Томленова [89], Е.А. Попова [57], В.Т. Мещеріна [50], А.В. Третьякова [92], П.І. Полухіна [73], М.Є. Зубцова [39], Є.П. Унксова [93], які запропонували теоретичне обґрунтування процесів згинання, мають велике практичне значення, зокрема для створення оптимальних технологій формоутворення

гвинтових і кільцевих деталей методами навивання, прокатування та визначення їх основних параметрів.

Особливості процесів згинання стрічок досліджували Ю.А. Аверкієв [1], Є.М. Мошнін [51], І.П. Ренне [75, 76], В.П. Романовський [80], в роботах яких запропоновано формули для визначення напружень, зусиль і згинальних моментів. Процеси формоутворення заготовок деталей машин згинанням вузької стрічки на ребро досліджені в роботах [1, 51], де розглянуто схеми напруженого стану та запропоновано формули для розрахунку напружень, зусиль і деформацій витих деталей.

Теоретичні основи технологічних методів формоутворення заготовок гнуттям формувались багатьма вченими. Слід приділити увагу науковим доробкам М.А. Зайкова [36], Є.П. Унксова [93], О.Д. Томленова [89] Є.О. Попова [57], А.В. Третьякова, Г.Я. Гуна [17], П.І. Полухіна [73], М.Є. Зубцова [58], В.Т. Мещеріна [50], які привели до розв'язок ряду теоретичних положень для розрахунків процесів згинання, мають велике практичне значення, зокрема для виготовлення профільних гвинтових заготовок методами навивання на оправу, прокатування з визначенням їх основних параметрів.

Встановленню раціональних конструктивних параметрів витих заготовок та розробленню технології їх виготовлення присвячені праці Е. Філяра, Г. Шенкеля [97], М. Дернелла, О. Германа [11] та ін. Визначенням конструктивних параметрів гвинтових заготовок займались А.З. Журавльов [25], В.Е. Гурвич [29], А. В. Церн [95], Д.Я. Шифрін [98], В.А. Егоров [34,35], та ін. Рекомендації щодо технології виготовлення та вибору конструктивних параметрів великогабаритних спіралей наведено в працях А.М. Григор'єва [14], П.А. Преображенського.

З 1964 року на кафедрі технології машинобудування Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя, під керівництвом професора Б.М. Гевка, успішно ведуться роботи щодо вдосконалення конструктивних та технологічних параметрів гвинтових і кільцевих



заготовок. На основі комплексних теоретичних та експериментальних досліджень Б.М. Гевком [6-10], М.І. Пилипцем [72], Р.М. Рогатинським [78], В.В. Васильків [5], О.Л. Ляшуком [48], Л.М. Данильченко [30], А.П. Драганом [32], розроблено високоефективні технологічні процеси виготовлення гвинтових деталей шнеків, впроваджено у виробництво спроектоване устаткування, спорядження та інструмент, одержано принципово нові конструкції профільних заготовок. Зокрема, у працях проф. М.І. Пилипця [72] розглянуто особливості технології виготовлення гвинтових заготовок для різних схем навивання з використанням розробленого оснащення, які прийнято за основу для подальшого дослідження. Виведено аналітичні залежності для визначення параметрів різнопрофільних гвинтових заготовок. Для процесів формоутворення заготовок навиванням введено новий критерій, який враховує коефіцієнт питомої висоти та радіус кривизни навивної заготовки. З цією метою запропоновано новий показник – коефіцієнт технологічної складності процесу навивання гвинтових заготовок на оправу ( $K_{тс}$ ), який визначається за залежністю:

$$K_{mc} = \left(\frac{B}{r}\right)^x \cdot K_e, \quad (1.11)$$

де  $B$  – висота стрічки;  $x$  – показник степеня функції;  $K_e$  – коефіцієнт, який враховує параметри процесу формоутворення ( $K_e = 0,7-1,1$ );  $r$  – радіус оправы.

Попередні дослідження показали, що стабільний процес формоутворення прокатування здійснюється за умови, коли коефіцієнт нерівномірності витягування  $\psi = \frac{(r+B)}{r} \leq 2.6$ . Тоді:

$$K_{mc} = (\psi - 1)^x \cdot K_e. \quad (1.12)$$

Експериментально уточнено значення коефіцієнту технологічної складності, який оцінюється зведеною висотою  $b_{зв}$ :

$$b_{зв} = (\psi - 1)^x K_e b', \quad (1.13)$$

де  $b' = \frac{B}{H}$  - питома висота заготовки.

Результати проведеного літературно-патентного огляду теоретичних та експериментальних досліджень технологічних процесів формоутворення гвинтових заготовок деталей машин дали змогу узагальнити основні критерії їх оцінки та зробити наступні висновки.

Встановлено, що у процесах формоутворення гвинтових заготовок навиванням усадка стрічки залежить від пластичності матеріалу, ступеня деформації, співвідношення товщини та ширини заготовки, значення плеча прикладання згинальної сили, конструктивних параметрів пристрою тощо, тому необхідно брати до уваги в подальшому дослідженні процесів навивання.

Аналізуючи проведені теоретичні дослідження, варто відмітити, що розроблення наукових засад створення раціональних технологічних процесів на основі теорії пластичності наштовхується на значні труднощі, пов'язані з одночасним впливом багатьох факторів, які не дозволяють у більшості випадків отримати точні розрахунки напружень, зусиль і деформацій. Загалом недостатньо досліджені технологічні процеси виготовлення профільних гвинтових заготовок і конструкції технологічного устаткування, спорядження і інструмент для їх формоутворення, та не розроблено методик їх проектування.

### **1.5 Аналіз процесів токарної обробки гвинтових заготовок**

При виробництві сучасних технічних систем, які включають в себе гвинтові заготовки, висуваються підвищені вимоги до їх якості і точності. Виготовлення ГЗ методами деформування стрічкових або листових заготовок не завжди забезпечує необхідну точність їх зовнішніх і внутрішніх діаметрів. Відхилення від необхідних розмірів сягає до 2 мм і більше, а овальність і ексцентриситет близько 1 мм. Для сучасних машин і механізмів ці відхилення є не припустимими. Крім цього, для серійного виробництва

аналіз розмірних ланцюгів показав, що граничні допуски на відхилення від розмірів і форми поверхні мають бути не більше 0,5 мм, для забезпечення стабільного процесу складання необхідних вузлів машин і механізмів, до складу яких входять ГЗ. Тому актуальним є введення операцій токарної обробки в технологічний процес виготовлення ГЗ, а в деяких випадках і процесу шліфування.

Розточуванню ГЗ присвячено багато праць, серед яких варто виділити роботи Гевка Б.М.[6-10], Пилипця М.І. [ 72], Ляшука О.Л. [48], Драгана А.П. [ 36]. Особливість розточування ГЗ полягає у тому, що в процесі різання виникають ударні навантаження та деформації ГЗ.

Проведені дослідження показали, що згідно осцилограми (рис. 1.9) чітко виділяються зони ударної та формоутворюючої взаємодій різця та витка спіралі. Крім цього, характер деформації різця після зняття навантаження (закінчення різання) свідчить про значне розсіювання (дисипацію) механічної енергії й практично повне закінчення коливного процесу за один період.



Рисунок 1.9. - Осцилограма процесу проточування зовнішньої крайки ГЗ  
( $t = 1,0$  мм;  $S = 0,4$  м/хв.;  $V = 150$  м/хв.;  $Pz = 400$  Н)

В процесі проведення досліджень одержано графіки, які дозволили встановити закономірності зміни параметрів процесу проточування зовнішньої крайки. Так із підвищенням швидкості різання зусилля різання зменшуються, а із зростанням подачі, глибини різання та товщини стрічки – підвищуються. Значення сили різання визначалось за формулою [8]:

$$P_z = C_{pz} V^{0,38} S^{0,4} t^{0,75} K_z, \quad (1.14)$$

де  $C_{pz}$ - коефіцієнт, який залежить від ширини стрічки, з якої виготовлено ГЗ;  $C_{pz} = 3800-4500$ ;  $V$ - швидкість різання;  $S$ - подача на один оберт;  $t$ - глибина різання;  $K_z$ - коефіцієнт, який залежить від товщини витка ГЗ по зовнішній крайці,  $K_z = (h / 2,5) K_{напр} K_{знош}$ ,  $K_{напр}$  - коефіцієнт, який залежить від величини подачі різця (для розточування за напрямком гвинтової лінії = 1,1; у випадку розточування в напрямку, протилежному гвинтовій лінії  $K_{напр} = 0,9$ );  $K_{знош}$  - коефіцієнт, який враховує зношування різця,  $K_{знош} = 0,8-1$ .

У роботі [54], в результаті проведених дослідів при точінні спіралей шнеків отримано уточнені коефіцієнти для визначення стійкості різців Т і, відповідно, кінцева формула розрахунку прийняла вигляд:

$$T = \frac{2,65 \cdot 10^4}{V^{1,46} S^{0,47} t^{0,16}}, \text{ хв.} \quad (1.15)$$

Як видно із формули (1.15), на стійкість різця для ударного точіння спіралей шнеків суттєво впливає швидкість різання, а також інші режими різання. Принципові схеми такого оброблення подані на рис. 1.10 [72].

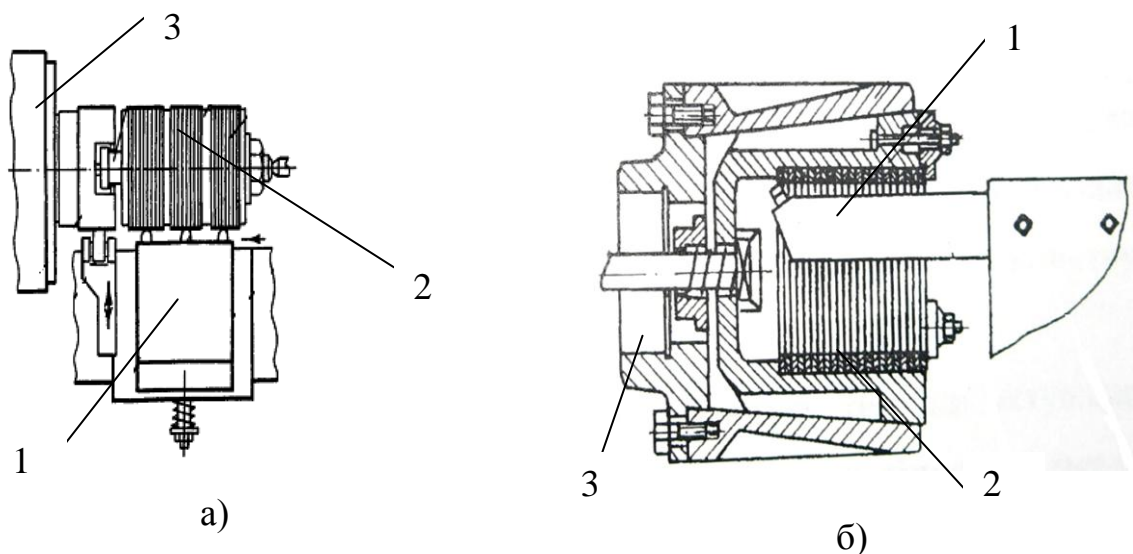


Рисунок 1.10. - Схеми оброблення ГЗ: а) проточування; б) розточування

Для виконання чорнової токарної обробки ГЗ розроблено спосіб

одночасного оброблення усіх витків спіралі. Так для чорнового обточування ГЗ з 30-50 витками її встановлювали на оправу, затискали та одночасно обробляли. В процесі проточування кутове положення оправы з заготовкою, на відміну від оброблення кільцевих заготовок, не потрібно орієнтувати відносно копіра, і виконується процес на спеціальних багаторізцевих токарнокопірувальних верстатах. Проведений аналіз процесів токарної обробки гвинтових заготовок показав, що даний процес супроводжується специфікою поверхні, яку оброблюють. Варто відзначити, що процеси токарної обробки профільних спіралей шнеків з вигнутим профілем не досліджувались взагалі і в подальшому потребують проведення теоретичного та експериментального дослідження.

### **1.6 Висновки та задачі дослідження**

На підставі проведеного аналізу можна зробити наступні висновки.

1. ГЗВП знайшли широке застосування в конструкціях різноманітних машин і механізмів за рахунок виконання особливих функцій, а в порівнянні із звичайними шнеками мають ще й суттєві переваги з точки зору жорсткості, що зумовлено наявністю в їх конструкції гофрованої поверхні на внутрішньому діаметрі, що дозволяє застосувати стрічку меншої товщини, яка, в свою чергу, краще піддається деформації при менших зусиллях.

2. Літературно – патентний огляд технологічних процесів і оснащення для виготовлення ГЗВП свідчать про те, що вони краще піддаються конструктивному та технологічному удосконаленню. Використання способів прокатування і штампування з метою отримання ГЗВП супроводжується значними енергозатратами, що значно погіршує економічні показники отриманих деталей в порівнянні з навиванням. Проте існуючі технології навивання ГЗВП не забезпечують у повній мірі можливості керування кутом нахилу витка спіралі в її поперечному перерізі.

3. Необхідно розробити теоретичні передумови створення технологічного процесу виготовлення ГЗВП навиванням з завчасним,

одночасним чи послідуєчим формуванням полицки. Провести теоретичні дослідження силових параметрів формоутворення навивних ГЗВП та процесу формоутворення полицки на ГЗ. Встановити залежність величини зусилля гнуття гвинтового елемента в залежності від висоти та товщини полицки, і кута її нахилу.

4. Слід провести дослідження силових параметрів процесу проточування ГЗВП і з врахуванням особливості їх геометрії. Побудувати математичну модель, яка враховує характер зміни навантажень на систему ГЗВП, оправу, різець, і провести динамічну оцінку процесу їх проточування.

5. Для перевірки теоретичних досліджень та виведених емпіричних залежностей необхідно провести комплекс експериментів з вивчення силових параметрів під час формоутворення полицки на ГЗ. Для цього необхідно спроектувати і виготовити експериментальне устаткування, робочий інструмент, провести комплекс експериментальних досліджень з використанням сучасних засобів вимірювання.

6. Розробити техніко-економічне обґрунтування розробленого технологічного процесу виконання на ГЗВП та інженерну методику проектування спеціального технологічного устаткування та інструменту для виготовлення ГЗВП. Дати практичні рекомендації для промислового виробництва щодо уточнення аналітичних залежностей та вибору характеристик технологічного устаткування, інструменту для формоутворення ГЗВП.

## РОЗДІЛ 2

### ТЕОРЕТИЧНІ ПЕРЕДУМОВИ ПРОЕКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ГВИНТОВИХ ЗАГОТОВОК З ВИГНУТИМ ПРОФІЛЕМ

#### 2.1. Дослідження силових параметрів формоутворення навивних гвинтових заготовок з вигнутим профілем

Виготовлення вигнутого профілю на навивних ГЗ можна забезпечити наступним шляхом:

1. Гнуття полицки на стрічці за допомогою роликів;
2. Навивання одержаної стрічки з полицкою на оправу.

Розглянемо процес навивання такої стрічки на оправу, схему якого представлено на рис. 2.1.

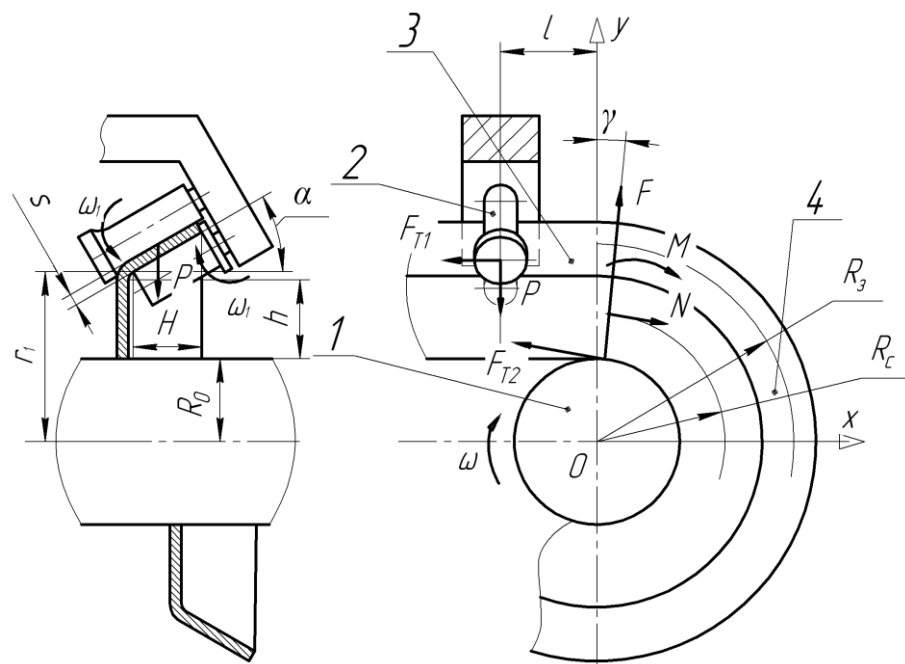


Рисунок 2.1 - Розрахункова схема процесу навивання стрічки на оправу:

1 – оправу; 2 – притискний ролик; 3 – стрічка; 4 – гвинтовий елемент

В процесі навивання відбувається стиснення волокон стрічки на внутрішньому діаметрі та їх розтяг на зовнішньому. Тобто в зоні полицки виникають лише деформації розтягу, а на внутрішній частині заготовки –

деформації стиску. Визначимо момент згину стрічки в цих зонах, розглянувши процес деформації в гарячому стані.

Як відомо, радіальні напруження, що виникають у полиці стрічки визначаються за формулою [39]:

$$\sigma_{\rho 1} = -\beta \sigma_s \cdot \ln \frac{R}{\rho}, \quad (2.1)$$

де  $\beta$  - коефіцієнт, що враховує вплив середнього головного напруження, дорівнює 1,15;  $\sigma_s$  - границя текучості матеріалу гвинтового затискного елемента, МПа;  $R$  - зовнішній радіус гнuttя, мм;  $\rho$  - полярна координата радіуса гнuttя, мм.

Аналогічно визначаємо радіальні напруження в зоні стиску:

$$\sigma_{\rho 2} = -\beta \sigma_s \cdot \ln \frac{\rho}{r}, \quad (2.2)$$

де  $r$  - внутрішній радіус гнuttя, мм.

Тангенціальні напруження в зоні розтягу:

$$\sigma_{\theta 1} = \beta \sigma_s \cdot \left( 1 - \ln \frac{R}{\rho} \right). \quad (2.3)$$

Тангенціальні напруження в зоні стиску:

$$\sigma_{\theta 2} = -\beta \sigma_s \cdot \left( 1 + \ln \frac{\rho}{r} \right). \quad (2.4)$$

Згідно розрахункової схеми на рисунок 2.1 радіус гнuttя полицки заготовки змінюється від  $r_1$  до  $r(x)$ , де:

$$r(x) = r_1 + x \cdot \operatorname{tg} \alpha, \quad (2.5)$$

де  $r_1$  - найменший внутрішній радіус гнuttя полицки, мм;  $\alpha$  - кут нахилу полицки, град.

Зовнішній радіус гнuttя заготовки:

$$R(x) = r_1 + \frac{s}{\cos \alpha} + x \cdot \operatorname{tg} \alpha, \quad (2.6)$$



де  $s$  – товщина стрічки, мм.

Значення моменту гнуття під час навивання із підігрівом визначемо як інтегральну суму по висоті заготовки елементарних елементів від тангенціальних напружень:

$$M = \int_0^H \int_{r(x)}^{R(x)} \sigma_{\theta 1} \rho d\rho dx + s \int_{R_0}^{R_0+h} \sigma_{\theta 2} \rho d\rho, \quad (2.7)$$

де  $\rho_n$  - радіус нейтральної поверхні напружень, мм;  $h$  – висота вертикальної частини заготовки, мм;  $H$  – висота полички гвинтового елемента, мм.

Підставляючи формули (2.3) - (2.6) в рівняння (2.7) одержуємо:

$$M = \int_0^H \int_{r_1+x \cdot \operatorname{tg} \alpha}^{r_1+\frac{s}{\cos \alpha}+x \cdot \operatorname{tg} \alpha} \beta \sigma_s \cdot \left( 1 - \ln \frac{r_1 + \frac{s}{\cos \alpha} + x \cdot \operatorname{tg} \alpha}{\rho} \right) \cdot \rho d\rho dx + s \int_{R_0}^{R_0+h} -\beta \sigma_s \cdot \left( 1 + \ln \frac{\rho}{R_0} \right) \rho d\rho, \quad (2.8)$$

де  $R_0$  – радіус оправки, мм;

Після перетворень рівняння (2.8) одержуємо:

$$M = \frac{1}{2} \cdot \beta \cdot \sigma_s \cdot \left( [bH \left( r_1 + \frac{1}{2}b + H \operatorname{tg} \alpha \right) + \frac{H}{3} (H \cdot \operatorname{tg} \alpha \cdot (-r_1 D + \operatorname{tg} \alpha K H + \frac{1}{2}b + 3r_1 K - D \operatorname{tg} \alpha H) + \right. \\ \left. + 3r_1^2 (K - D) - b(b + r_1)) + \frac{r_1^3 (K - D - C + \ln r_1) + b^3 (K - C) + r_1 b^2}{\operatorname{tg} \alpha} ] + s \cdot \left( -\frac{1}{2} ((R_0 + h)^2 - R_0^2) - \right. \right. \\ \left. \left. - (R_0 + h)^2 \ln \left( \frac{R_0 + h}{R_0} \right) \right) \right), \quad (2.9)$$

де використано наступні позначення:

$$b = \frac{s}{\cos \alpha}; \quad K = \ln(r_1 + b + H \operatorname{tg} \alpha); \quad C = \ln(r_1 + b); \quad D = \ln(r_1 + H \operatorname{tg} \alpha).$$

Згідно розрахункової схеми на рисунок 2.1 рівняння рівноваги частини стрічки, що піддається деформації запишемо наступним чином:

$$\left. \begin{array}{l} \text{по осі } x: -F_{T1} - F_{T2} \cdot \cos \gamma + N \cdot \cos \gamma + F \cdot \sin \gamma = 0; \\ \text{по осі } y: -P + F_{T2} \cdot \sin \gamma - N \cdot \sin \gamma + F \cdot \cos \gamma = 0; \\ \text{сума моментів: } P \cdot l + F_{T1} \cdot R_3 + F_{T2} \cdot R_0 - N \cdot R_c - M = 0, \end{array} \right\} \quad (2.10)$$

де  $F_{T1}$  – сила тертя між роликом та стрічкою, Н;  $F_{T2}$  – сила тертя між стрічкою та оправкою, Н;  $\gamma$  – кут повороту оправки, град;  $N$  – поздовжня сила, Н;  $F$  – рівнодіюча нормальних контактних напружень на стрічці, Н;  $P$  – сила гнуття притискним роликом, Н;  $l$  – відстань між центрами оправки та притискного ролика, мм;  $R_3$  – середній радіус взаємодії гвинтового елемента, мм;  $R_c$  – середній радіус гвинтового елемента, мм;

Сили тертя визначаємо за залежностями:

$$F_{T1} = \mu_1 \cdot P; \quad (2.11)$$

$$F_{T2} = \mu_2 \cdot F, \quad (2.12)$$

де  $\mu_1$  – коефіцієнт тертя між притискним роликом та стрічкою;  $\mu_2$  – коефіцієнт тертя між оправкою та гвинтовим елементом.

Рівнодіючу нормальних контактних напружень знаходимо за формулою:

$$F = \sigma_r \cdot s \cdot L, \quad (2.13)$$

де  $\sigma_r$  – контактні нормальні напруження на внутрішньому радіусу гвинтової заготовки, МПа;  $s$  – товщина стрічки, мм;  $L$  – довжина контакту по внутрішньому діаметру, мм.

При відомому моменті гнуття  $M$  можна знайти усі сили, що виникають в процесі навивання, розв'язавши систему рівнянь (2.10). В даному випадку:

$$F = \frac{-P \cdot (\mu_1 \cdot \operatorname{tg} \gamma - l)}{\mu_2 \cdot \sin \gamma + \operatorname{tg} \gamma \cdot (-\mu_2 \cdot \cos \gamma + \sin \gamma) + \cos \gamma}; \quad (2.14)$$

$$N = \frac{\mu_1 \cdot P + F \cdot (\mu_2 \cdot \cos \gamma + \sin \gamma)}{\cos \gamma}. \quad (2.15)$$

Експериментальні дослідження показали, що максимальна сила гнуття  $P$  притискним роликом виникає на початковій стадії деформування, тобто, коли кут  $\gamma$  рівний нулю. Тому, для спрощення розрахунків, розв'язок системи рівнянь (2.10) буде наступним:

$$P = F; \quad (2.16)$$

$$N = (\mu_1 + \mu_2) \cdot P; \quad (2.17)$$

$$P = \frac{M}{l + \mu_1 \cdot R_3 + \mu_2 \cdot R_0}. \quad (2.18)$$

Слід зауважити, що тут коефіцієнт тертя  $\mu_1$  між притискним роликом і профільною стрічкою є величиною приведеною і не відповідає безпосередньому значенню коефіцієнта тертя для контактуючих матеріалів. Момент, який необхідно прикласти для обертання оправки, залежить від конструктивних особливостей оправки і в загальному випадку визначається згідно рис. 2.1 за залежністю:

$$M_o = k_M \cdot P \cdot (l + \mu_1 \cdot R_3) \quad (2.19)$$

де  $k_M$  – коефіцієнт, що враховує конструктивні виконання оправки.

На основі приведених вище формул можна проектувати необхідне технологічне устаткування. При цьому, для зменшення моменту обертання оправки, а отже, і зменшення необхідної потужності навівання ГЗ, потрібно звести до мінімуму коефіцієнт тертя  $\mu_1$ , наприклад, використовуючи змащувальні речовини.

Якщо процес навівання гвинтового елемента виконувати в холодному стані, в матеріалі заготовки проходить процес зміцнення, в наслідок чого зростає момент гнуття, який можна визначити за формулою:

$$M = \int_0^H \int_{r_1 + x \cdot \operatorname{tg} \alpha}^{r_1 + \frac{s}{\cos \alpha} + x \cdot \operatorname{tg} \alpha} \beta \left[ \sigma_{TO} \cdot \left( 1 - \ln \frac{r_1 + \frac{s}{\cos \alpha} + x \cdot \operatorname{tg} \alpha}{\rho} \right) + \right. \\ \left. + \frac{\Pi}{2} \cdot \left( 2 \ln \frac{\rho}{R_c} - \ln \frac{\rho \left( r_1 + \frac{s}{\cos \alpha} + x \cdot \operatorname{tg} \alpha \right)}{R_c^2} \ln \frac{\left( r_1 + \frac{s}{\cos \alpha} + x \cdot \operatorname{tg} \alpha \right)}{\rho} \right) \right] \cdot \rho d \rho dx + \\ + s \beta \int_{R_0}^{R_0+h} \left[ \sigma_{TO} \left( 1 + \ln \frac{\rho}{R_0} \right) + \frac{\Pi}{2} \left( 2 \ln \frac{R_0+h}{\rho} + \ln \frac{(R_0+h)^2}{\rho R_0} \ln \frac{\rho}{R_0} \right) \right] \rho d \rho, \quad (2.20)$$

де  $\sigma_{to}$  – екстрапольована границя текучості, МПа;  $\Pi$  – лінійний модуль зміцнення, МПа.

Розв’язок рівняння (2.20) аналітичним методом є досить громіздким, тому визначення конкретного числового значення моменту гнуття доцільно проводити числовим методом, використовуючи відповідні комп’ютерні програми, що значно зменшить час на розрахунок.

Приклад такого розрахунку представлено у вигляді графічних залежностей на рисунку 2.2.

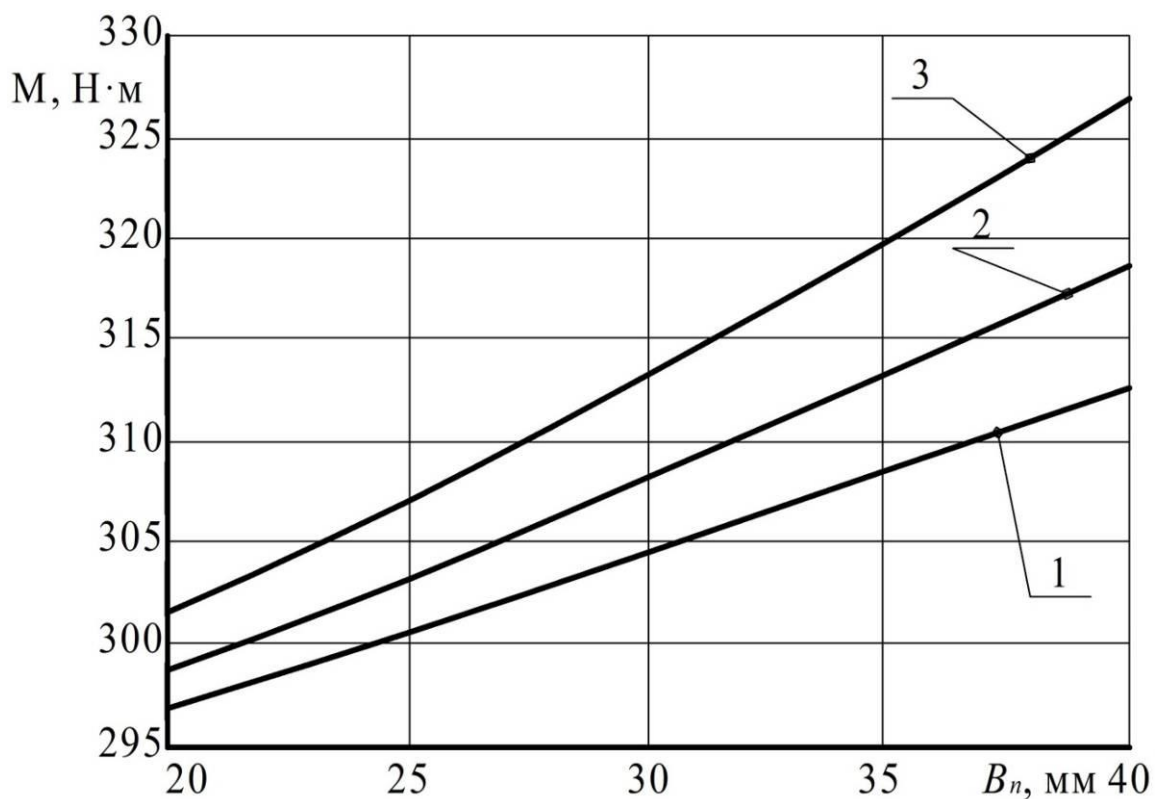


Рисунок 2.2 - Графічні залежності моменту гнуття стрічки від ширини полицки (сталь 08кп;  $s = 1,5$  мм,  $R_0 = 30$  мм): 1)  $\alpha = 10^\circ$ ; 2)  $\alpha = 20^\circ$ ; 3)  $\alpha = 30^\circ$ .

Згідно графічних залежностей відображених на рисунку 2.2 можна зробити висновок, що при збільшенні висоти полицки і кута її нахилу момент гнуття гвинтового елемента зростає.

На основі графічних залежностей (рис. 2.2) та залежності (2.18) побудовано графічні залежності сили гнуття стрічки від висоти полицки (рис. 2.3).

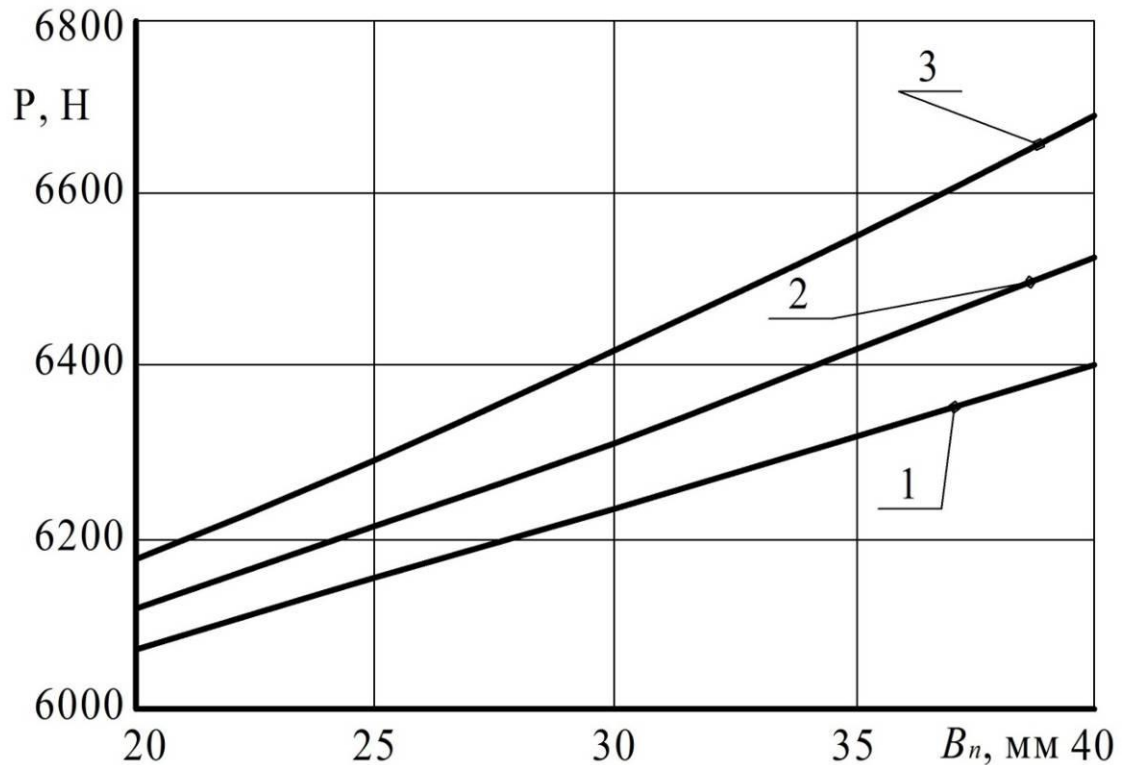


Рисунок 2.3 – Графічні залежності сили гнуття стрічки від ширини полицки (сталь 08кп;  $s = 1,5$  мм,  $R_0 = 30$  мм): 1)  $\alpha = 10^\circ$ ; 2)  $\alpha = 20^\circ$ ; 3)  $\alpha = 30^\circ$

Аналіз одержаних даних (рис. 2.2 та рис. 2.3) показав, що більша частина деформації заготовки припадає на її вертикальну частину, і при збільшенні висоти полицки і кута її нахилу сила гнуття гвинтового елемента зростає. Оскільки основною робочою поверхнею гвинтового елемента є полицка, то для зменшення моменту гнуття такої стрічки можна виконувати вирізи на вертикальній частині стрічки, якщо це негативно не вплине на конструктивні особливості спіралі.

## 2.2. Дослідження силових параметрів процесу формоутворення полички на гвинтовій заготовці

Для дослідження силових параметрів процесу формоутворення полички на ГЗ розглянемо розрахункову схему, зображену на рисунку 2.4.

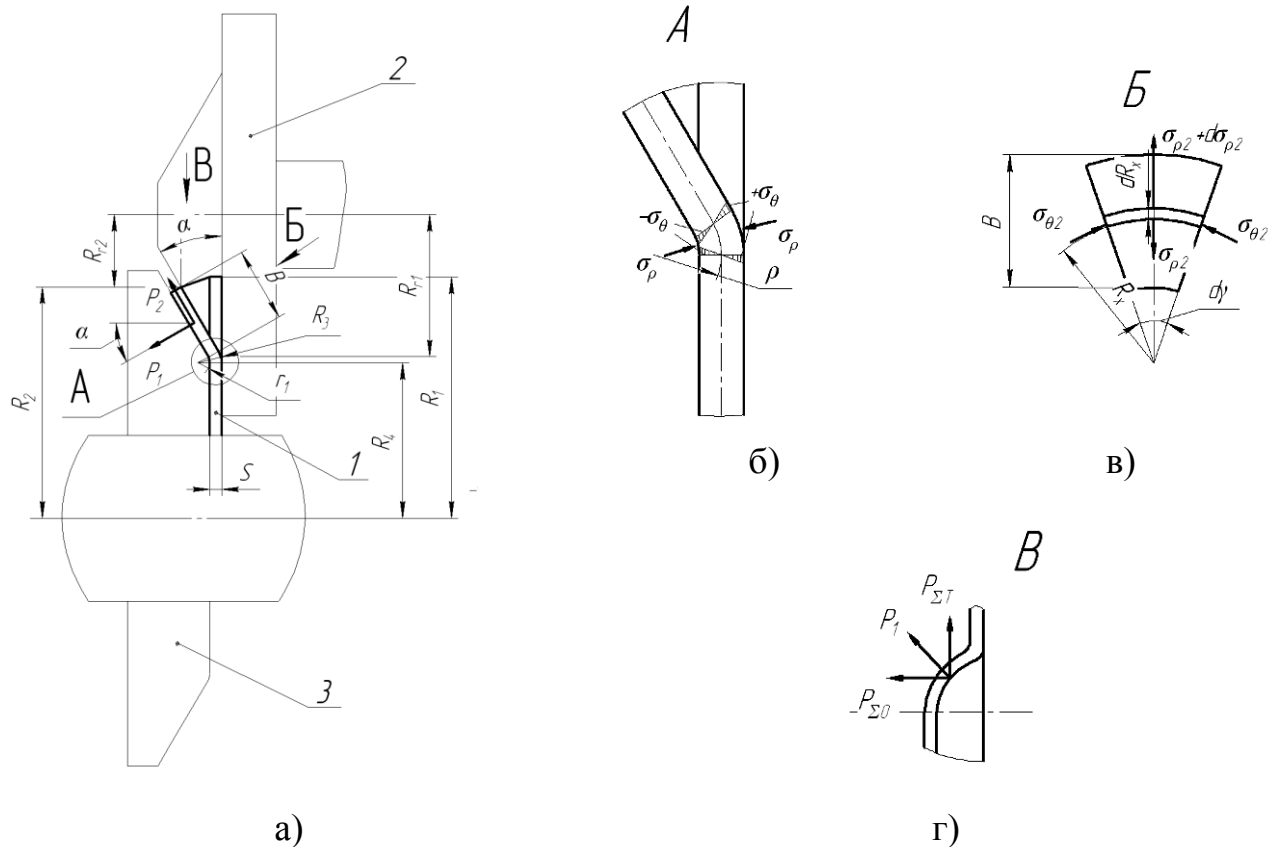


Рисунок 2.4 – Розрахункова схема процесу формоутворення полички ГЗ: а) основний вигляд; б) вигляд зони деформації згину полички по внутрішньому радіусі; в) вигляд зони деформації матеріалу елементарного сектору на зігнутій поличці; г) вигляд розподілення зусиль; 1 - гвинтова заготовка; 2 - ролик; 3 - оправка

В процесі деформації полички виникають дві зони деформації: деформація згину полички по внутрішньому радіусі  $r_1$ , що відповідає радіусу заокруглення оправки 3 (рисунку 2.4.б) та деформація матеріалу на зігнутій поличці, оскільки відбувається стиснення матеріалу полички в тангенціальному напрямку та розтяг в радіальному напрямку без зміни

товщини вихідної заготовки як наслідок зменшення периметру зовнішньої кромки гвинтової заготовки при зміні її зовнішнього радіуса від  $R_1$  до  $R_2$ .

Деформацію згину полички по внутрішньому радіусі  $r_1$  можна розглядати як згин широкої стрічки. Напружено-деформований стан в цих місцях представлений як об'ємний стан напружень та плоский стан деформацій. Згідно рисунка 1, враховуючи постійність внутрішнього радіуса згину  $r_1$  стрічки по всій довжині згину  $l$  ГЗ, використовуємо полярну систему координат із полюсом, що співпадає із центром радіуса  $r_1$  в даний момент деформування. Рівняння рівноваги прийме вид [18]:

$$\rho \cdot \frac{d\sigma_\rho}{d\rho} + \sigma_\rho - \sigma_\theta = 0, \quad (2.21)$$

де  $\sigma_\rho$  – радіальні напруження, МПа;  $\sigma_\theta$  – тангенціальні напруження, МПа.

Рівняння пластичності в спрощеному виді по енергетичній теорії при умові, що  $\sigma_\rho$  і  $\sigma_\theta$  являються крайніми головними напруженнями із врахуванням зміцнення, буде [58]:

- для зони стиску:

$$\sigma_\rho - \sigma_\theta = -\beta \cdot \left( \sigma_{T.0} - \Pi \cdot \ln \frac{\rho}{\rho_n} \right); \quad (2.22)$$

- для зони розтягу:

$$\sigma_\rho - \sigma_\theta = \beta \cdot \left( \sigma_{T.0} + \Pi \cdot \ln \frac{\rho}{\rho_n} \right), \quad (2.23)$$

де  $\beta$  – коефіцієнт, що враховує вплив середнього головного напруження  $\sigma_z$ ;  $\sigma_{T.0}$  – екстрапольована границя текучості, МПа;  $\Pi$  – лінійний модуль зміцнення, МПа;  $\rho_n$  – радіус нейтральної поверхні деформації, мм;

Через те, що при згині широкої стрічки аксіальні деформації  $\varepsilon_z$  рівні нулю, що відповідає умові плоского стану деформації, коефіцієнт  $\beta$  буде рівний 1,15.

Радіус нейтральної поверхні деформації визначається рівнянням [58]:

$$\rho_n = \sqrt{R_3 \cdot r_1}, \quad (2.24)$$

де  $R_3$  – зовнішній радіус гнуття стрічки по лініях згину, мм.

Після розв'язку системи рівнянь (2.22), (2.23), (2.24) із використанням граничних умов, при яких для зони розтягу  $\sigma_\rho=0$  при  $\rho=R_3$ , а для зони стиску  $\sigma_\rho=0$  при  $\rho=r_1$ , знаходимо формули, що характеризують розподіл напружень  $\sigma_\rho$  і  $\sigma_\theta$  з врахуванням зміцнення матеріалу [18]:

для зони розтягу:

$$\sigma_\rho = -\beta \cdot \left( \sigma_{T.0} + \frac{\Pi}{2} \cdot \ln \frac{\rho \cdot R_3}{\rho_n^2} \right) \cdot \ln \frac{R_3}{\rho}; \quad (2.25)$$

$$\sigma_{\theta_{роз}} = \beta \cdot \sigma_{T.0} \cdot \left( 1 - \ln \frac{R_3}{\rho} \right) + \beta \cdot \frac{\Pi}{2} \cdot \left( 2 \cdot \ln \frac{\rho}{\rho_n} - \ln \cdot \frac{R_3 \cdot \rho}{\rho_n^2} \cdot \ln \frac{R_3}{\rho} \right); \quad (2.26)$$

для зони стиску:

$$\sigma_\rho = -\beta \cdot \left( \sigma_{T.0} + \frac{\Pi}{2} \cdot \ln \frac{\rho_n^2}{\rho \cdot r_1} \right) \cdot \ln \frac{\rho}{R_3}; \quad (2.27)$$

$$\sigma_{\theta_{ст}} = -\beta \cdot \left( \sigma_{T.0} \cdot \left( 1 + \ln \frac{\rho}{r_1} \right) + \frac{\Pi}{2} \cdot \left( 2 \cdot \ln \frac{\rho_n}{\rho} + \ln \frac{\rho_n^2}{\rho \cdot r_1} \cdot \ln \frac{\rho}{r_1} \right) \right). \quad (2.28)$$

Значення моменту згинання полички ГЗ у першій зоні деформації  $M_{зз}$  із врахуванням зміцнення можна визначити як інтегральну суму моментів створених тангенціальними напруженнями  $\sigma_\theta$ :

$$M_{зз} = l \left( \int_{\rho_n}^{R_3} \sigma_{\theta_{розст}} \cdot \rho d\rho + \int_{r_1}^{\rho_n} \sigma_{\theta_{ст}} \cdot \rho d\rho \right). \quad (2.29)$$

Довжину згину  $l$  гвинтової заготовки визначаємо за формулою:

$$l = \arccos \left( \frac{2R_{r1} - B \sin \alpha}{2R_{r1}} \right) R_{r1}, \quad (2.30)$$

де  $R_{r1}$  - радіус кінцевого ролика на лінії його контакту із гвинтовою заготовкою при основі формованої полички, мм;  $B$  - ширина полички, мм;  $\alpha$  – кут згину полички, град.



Підставляючи формули (2.26), (2.28), (2.30) у формулу (2.29) одержимо:

$$M_{32} = \beta R_{r1} \arccos\left(\frac{R_{r1} - B \sin \alpha}{R_{r1}}\right) \cdot \left[ \sigma_{T.0} \cdot \frac{S^2}{4} + \Pi \cdot \left( \frac{R_3^2 + r_1^2}{4} \cdot \ln \sqrt{\frac{R_3}{r_1}} - \frac{R_3^2 - r_1^2}{8} \right) \right], \quad (2.31)$$

де  $S$  – товщина матеріалу витка, мм.

Відповідно силу згину полички для першої зони деформації визначаємо за формулою:

$$P_1 = \frac{2\beta R_{r1}}{B} \arccos\left(\frac{R_{r1} - B \sin \alpha}{R_{r1}}\right) \cdot \left[ \sigma_{T.0} \cdot \frac{S^2}{4} + \Pi \cdot \left( \frac{R_3^2 + r_1^2}{4} \cdot \ln \sqrt{\frac{R_3}{r_1}} - \frac{R_3^2 - r_1^2}{8} \right) \right], \quad (2.32)$$

Під час деформації матеріалу полички ГЗ у другій зоні деформації (рисунок 2.4) має місце вісесиметрична деформація, що дозволяє визначити напружений стан в місці деформації розглядом напруженого стану елементарного сектора (рисунок 2.4 в) з кутом в плані  $d\gamma$ . При цьому дотичні напруження рівні нулю, а радіальні напруження  $\sigma_{\rho 2}$  і тангенціальні напруження  $\sigma_{\theta 2}$  є головними.

Розглянемо умову рівноваги кільцевої стрічки шириною  $dR_x$ , що знаходиться на відстані  $R_x$  від центра при малих переміщеннях заготовки в полярній системі координат. Спроекуємо сили на радіус, що проходить через середину сектора, і прирівняємо їх суму нулю. Сили, що діють на елементарний сектор, визначаємо як добуток напружень на відповідні площі [18]. Напруження  $\sigma_{\rho 2}$  діють на площі  $f_1 = R_x d\gamma s$ ,  $\sigma_{\rho 2} + d\sigma_{\rho 2}$  - на площі  $f_2 = (R + dR_x) d\gamma s$ ,  $\sigma_{\theta 2}$  - на площі  $f_3 = dR_x s$ .

Складемо диференціальне рівняння рівноваги:

$$(\sigma_{\rho 2} + d\sigma_{\rho 2}) \cdot S \cdot d\gamma \cdot (R_x + dR_x) - \sigma_{\rho 2} R_x d\gamma S - 2\sigma_{\theta 2} dR_x S \sin\left(\frac{d\gamma}{2}\right) = 0. \quad (2.33)$$

Після скорочень, враховуючи те, що для малих кутів  $\sin\left(\frac{d\gamma}{2}\right) = \frac{d\gamma}{2}$  і

нехтуючи членами другого порядку, одержимо:

$$d\sigma_{\rho 2} R_x + dR_x (\sigma_{\rho 2} - \sigma_{\theta 2}) = 0. \quad (2.34)$$

Рівняння прямої, що апроксимує криву зміцнення матеріалу гвинтової заготовки в координатах напруження - логарифмічні деформації можна записати у вигляді [18]:

$$\sigma_s = \sigma_{T.0} + \Pi e_{\theta}, \quad (2.35)$$

де  $e_{\theta}$  - логарифмічна деформація в тангенціальному напрямку.

Логарифмічну деформацію в тангенціальному напрямку згідно розрахункової схеми визначаємо за формулою:

$$e_{\theta} = \ln \frac{R_1}{R_1 - R_x (1 - \cos \alpha)}. \quad (2.36)$$

Для розв'язку диференціального рівняння (2.34) використовуємо рівняння пластичності із врахування зміцнення матеріалу:

$$\sigma_{\rho 2} - \sigma_{\theta 2} = \beta \left( \sigma_{T.0} + \Pi \ln \frac{R_1}{R_1 - R_x (1 - \cos \alpha)} \right). \quad (2.37)$$

Після перетворення рівняння (2.34) одержимо:

$$d\sigma_{\rho 2} = -\beta \left( \sigma_{T.0} \frac{dR_x}{R_x} + \Pi \ln \frac{R_1}{R_1 - R_x (1 - \cos \alpha)} \frac{dR_x}{R_x} \right). \quad (2.38)$$

Звідки:

$$\sigma_{\rho 2} = -\beta \left( \sigma_{T.0} \int \frac{dR_x}{R_x} + \Pi \int \ln \frac{R_1}{R_1 - R_x (1 - \cos \alpha)} \frac{dR_x}{R_x} \right). \quad (2.39)$$

Після інтегрування рівняння (2.39) знаходимо:

$$\sigma_{\rho 2} = -\beta \left( \sigma_{T.0} \ln R_x + \Pi \left( -\frac{1}{2} \ln \left( \frac{R_1}{R_1 - R_x (1 - \cos \alpha)} \right)^2 - \text{Li}_2 \left( \frac{R_1}{R_1 - R_x (1 - \cos \alpha)} \right) \right) \right) + C, \quad (2.40)$$

де  $Li_2\left(\frac{R_1}{R_1 - R_x(1 - \cos \alpha)}\right)$  - ділогарифм Ейлера.

Ділогарифм Ейлера визначають за формулою:

$$Li_2\left(\frac{R_1}{R_1 - R_x(1 - \cos \alpha)}\right) = \int_1^{\frac{R_1}{R_1 - R_x(1 - \cos \alpha)}} \frac{\ln(t)}{1-t} dt. \quad (2.41)$$

Для знаходження постійної інтегрування  $C$  використовуємо граничну умову: при  $R_x = R_4 + r_1 \sin \alpha + B \cos \alpha = R_5$ , де  $R_4$  - радіус недеформованої частини ГЗ, на зовнішній вільній кромці заготовки  $\sigma_{\rho 2} = 0$ . Тому із рівняння (2.40), враховуючи (2.41) знаходимо:

$$C = \beta \left( \sigma_{T.0} \ln R_5 + \Pi \left( -\frac{1}{2} \ln \left( \frac{R_1}{R_1 - B(1 - \cos \alpha)} \right)^2 - \int_1^{\frac{R_1}{R_1 - R_5(1 - \cos \alpha)}} \frac{\ln(t)}{1-t} dt \right) \right). \quad (2.42)$$

Підставляючи рівняння (2.41) у рівняння (2.40), одержуємо:

$$\sigma_{\rho 2} = \beta \left( \sigma_{T.0} \ln \frac{R_5}{R_x} + \Pi \left( \frac{1}{2} \ln \frac{(R_1 - R_5(1 - \cos \alpha))^2}{(R_1 - R_x(1 - \cos \alpha))^2} + \int_1^{\frac{R_1}{R_1 - R_x(1 - \cos \alpha)}} \frac{\ln(t)}{1-t} dt - \int_1^{\frac{R_1}{R_1 - R_5(1 - \cos \alpha)}} \frac{\ln(t)}{1-t} dt \right) \right) \quad (2.43)$$

Тангенціальні напруження знаходимо із рівняння (2.37), враховуючи рівняння (2.42):

$$\sigma_{\theta 2} = \beta \left( \sigma_{T.0} \ln \frac{R_5}{R_x} + \Pi \left( \frac{1}{2} \ln \frac{(R_1 - R_5(1 - \cos \alpha))^2}{(R_1 - R_x(1 - \cos \alpha))^2} + \int_1^{\frac{R_1}{R_1 - R_x(1 - \cos \alpha)}} \frac{\ln(t)}{1-t} dt - \int_1^{\frac{R_1}{R_1 - R_5(1 - \cos \alpha)}} \frac{\ln(t)}{1-t} dt \right) \right) - \beta \left( \sigma_{T.0} + \Pi \ln \frac{R_1}{R_1 - R_x(1 - \cos \alpha)} \right). \quad (2.44)$$

Величину аксіальних напружень  $\sigma_z$ , що діють перпендикулярно до деформованої частини полицки, знайдемо із умови плоскої деформації, при якій прийнято, що [18]:

$$\sigma_{z2} = \frac{\sigma_{\rho2} + \sigma_{\theta2}}{2}. \quad (2.45)$$

Підставляючи рівняння (2.42) та (2.43) у рівняння (2.44), одержуємо

$$\sigma_{z2} = \beta \left( \sigma_{T.0} \ln \frac{R_5}{R_x} + \Pi \left( \frac{1}{2} \ln \frac{(R_1 - R_5(1 - \cos \alpha))^2}{(R_1 - R_x(1 - \cos \alpha))^2} + \int_1^{\frac{R_1}{R_1 - R_x(1 - \cos \alpha)}} \frac{\ln(t)}{1-t} dt - \int_1^{\frac{R_1}{R_1 - R_5(1 - \cos \alpha)}} \frac{\ln(t)}{1-t} dt \right) \right) - \frac{\beta}{2} \left( \sigma_{T.0} + \Pi \ln \frac{R_1}{R_1 - R_x(1 - \cos \alpha)} \right). \quad (2.46)$$

Радіальне зусилля деформації полички ГЗ знаходимо за формулою для середнього радіуса полички, як добуток радіальних напружень із формули (2.42) при  $R_x = R_4 + r_1 \sin \alpha + \frac{B}{2} \cos \alpha$  на площу перерізу на середньому радіусі полички:

$$P_2 = \beta \left( \sigma_{T.0} \ln \frac{R_5}{R_x} + \Pi \left( \frac{1}{2} \ln \frac{(R_1 - R_5(1 - \cos \alpha))^2}{(R_1 - R_x(1 - \cos \alpha))^2} + \int_1^{\frac{R_1}{R_1 - R_x(1 - \cos \alpha)}} \frac{\ln(t)}{1-t} dt - \int_1^{\frac{R_1}{R_1 - R_5(1 - \cos \alpha)}} \frac{\ln(t)}{1-t} dt \right) \right) \times \frac{S(R_{r1} + R_{r2})}{2} \arccos \left( 1 - \frac{B \sin \alpha}{R_{r1} + R_{r2}} \right). \quad (2.47)$$

де  $R_{r2}$  - радіус конічного ролика на лінії його контакту із ГЗ на зовнішній кромці формованої полички, мм.

Сумарне зусилля деформації полички в осьовому напрямку оправи визначаємо за формулою:

$$P_{\Sigma o} = (P_1 \sin \alpha + P_2 \cos \alpha) \sin \left( \arccos \left( 1 - \frac{B \sin \alpha}{R_{r1} + R_{r2}} \right) \right). \quad (2.48)$$

Сумарне зусилля деформації полички в тангенціальному напрямку оправи визначаємо за формулою:

$$P_{\Sigma T} = (P_1 \sin \alpha + P_2 \cos \alpha) \left( 1 - \frac{B \sin \alpha}{R_{r1} + R_{r2}} \right). \quad (2.49)$$

Тоді крутний момент на оправі визначаємо за формулою:

$$M_o = \left( (P_1 \sin \alpha + P_2 \cos \alpha) \left( 1 - \frac{B \sin \alpha}{R_{r1} + R_{r2}} + \sin \left( \arccos \left( 1 - \frac{B \sin \alpha}{R_{r1} + R_{r2}} \right) \right) \mu \right) \right) \left( R_4 + r_1 \sin \alpha + \frac{B}{2} \cos \alpha \right), \quad (2.50)$$

де  $\mu$  – приведений коефіцієнт тертя між роликом і ГЗ.

За результатами досліджень побудовані графічні залежності крутного моменту  $M_o$  на оправі від ширини полицки, кута нахилу полицки та ширини полицки (рис. 2.5 та рис. 2.6), при зростанні яких відбувається ріст моменту  $M_o$ .

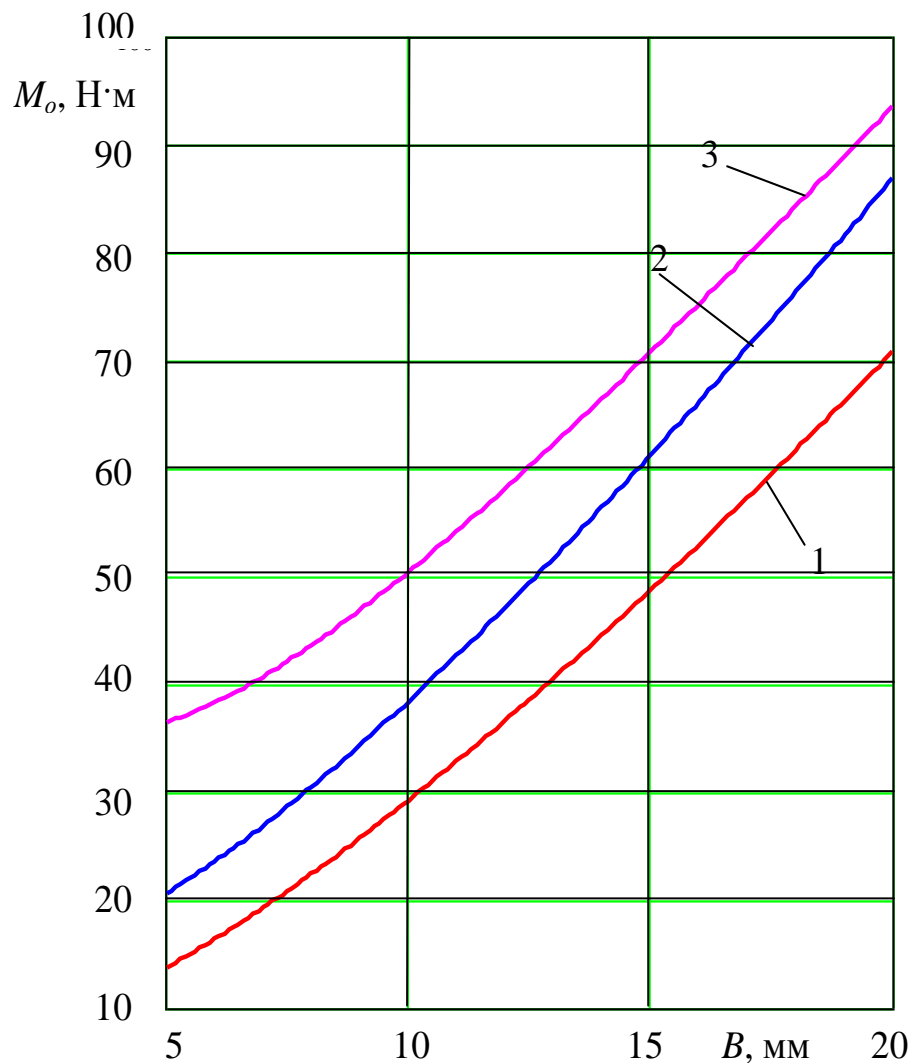


Рисунок 2.5 - Графічні залежності крутного моменту на оправці від ширини полицки  $B_n$  та кута нахилу полицки  $\alpha$  (сталь 08кп,  $S = 2$  мм):

1)  $\alpha = 10^\circ$ ; 2)  $\alpha = 17^\circ$ ; 3)  $\alpha = 35^\circ$

За отриманими залежностями можна зробити висновок, що формоутворення вигнутого профілю в межах 5-20 мм супроводжується значним моментами на оправі. Так для кута нахилу полицки  $\alpha = 10^\circ$  момент  $M_0$  змінюється в межах 13-71 Н·м, для  $\alpha = 17^\circ$  - в межах 21-86 Н·м, а для  $\alpha = 35^\circ$  - в межах 36-93 Н·м.

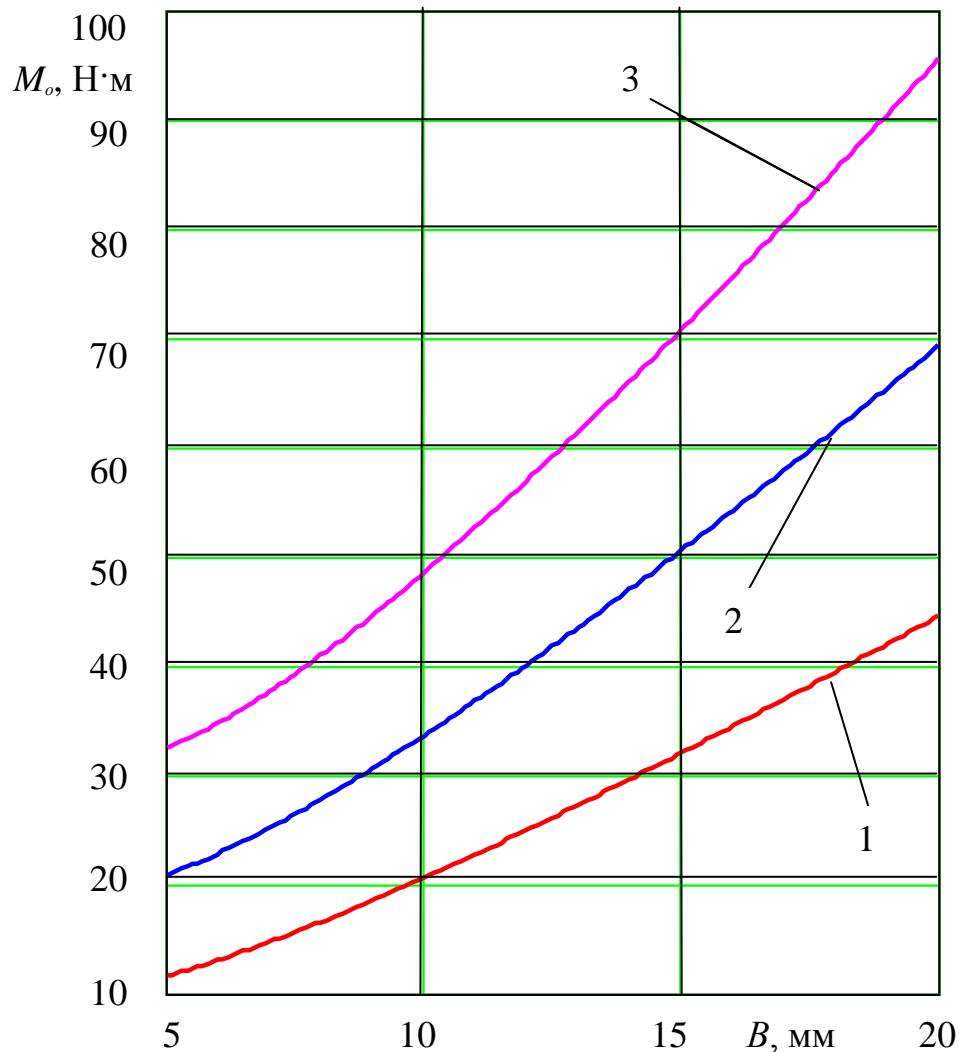


Рисунок 2.6 - Графічні залежності крутного моменту на оправці від ширини полицки  $B_n$  та товщини витка спіралі  $S$  (сталь 08кп,  $\alpha = 35^\circ$ ):

1)  $S=1$  мм.; 2)  $S=1,5$  мм.; 3)  $S=2$  мм

За отриманими залежностями можна зробити висновок, що при формоутворенні вигнутого профілю в межах 5-20 мм для товщини витка спіралі  $S = 1$  мм момент  $M_0$  знаходиться в межах 11-44 Н·м, для  $S = 1,5$  мм - в межах 20-68 Н·м, а для  $S = 2$  - в межах 33-95 Н·м.

### 2.3. Дослідження силових параметрів процесу проточування гвинтових заготовок з вигнутим профілем

Особливості геометрії ГЗ мають значний вплив на динаміку процесу їх проточування, а також на будову необхідних пристроїв та інструментів. Проточування зовнішніх і внутрішніх діаметрів ГЗ можна проводити прохідними різцями як і для звичайних циліндричних поверхонь. Проте цей процес має суттєві відмінності. По перше ГЗ характеризуються порівняно низькою жорсткістю, а по друге - вони відносяться до перервних поверхонь. Тому процес їх точіння пов'язаний із надзвичайно складними ударними та формотворними процесами, і особливо це стосується точіння відігнутого профілю ГЗВП. Внаслідок цього виникає необхідність у побудові математичної моделі, яка б показувала характер зміни навантажень при точінні на систему: ГЗВП, оправа, різець. Загальну оцінку динамічного характеру проявлення навантаження можна одержати на основі введення коефіцієнта динамічності  $k_d$ , як відношення величини деформації системи при динамічній і статичній дії. Дослідженню навантажень на несучу систему верстата і різець, як інструмент обробки, присвячено окремі праці [58], тоді як характер навантаження на деталь (ГЗВП), оправу та особливості проточування поверхонь із змінною глибиною різання потребують подальшого вивчення та аналізу.

Проточування перервних поверхонь ГЗВП відноситься до перехідних динамічних процесів. Вирішення задачі щодо виявлення дійсних навантажень на ГЗВП, оправу, різець та конструктивні елементи верстата під час перехідного процесу з врахуванням коливань являє собою одну із важливих проблем теорії розрахунку вказаних елементів. Дослідження деталей динамічної системи шляхом виділення їх із ланцюга не може дати достатньо точного уявлення про дійсні напруження в складових частинах системи ГЗВП, оправа, різець. Тому розрахунок системи взаємозв'язаних

деталей потрібно проводити з врахуванням пружності їх зв'язків, а отже і коливального руху всіх її елементів.

Схему проточування ГЗ представлено на рис. 2.7. Особливістю цієї схеми є те, що діаметр витків після формування є змінний вздовж вісі оправки, а сама поверхня ГЗВП має конічну форму з кутом  $\alpha$ . Після проточування одержують ГЗВП циліндричної форми.

Значення моментів сил пружності для системи, показаної на рис. 2.7, можуть бути знайдені при допомозі вирішення диференціальних рівнянь руху – рівнянь динаміки, що описують перехідні процеси в даній системі ГЗВП, оправка, різець.

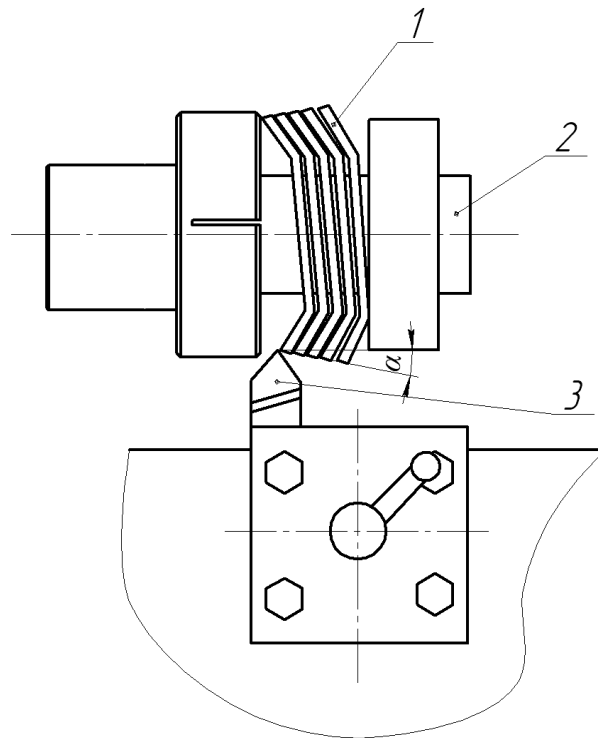


Рисунок 2.7 – Схема проточування ГЗВП: 1 – ГЗ; 2 – оправка; 3 – різець

Якщо розглядати реальний процес проточування зі всіма складовими, прийшлося би створювати складну систему диференціальних рівнянь, яку б не тільки було важко вирішити, але й проаналізувати. Тому, щоб визначити основний характер проточування ГЗВП, відкидаємо другорядні фактори і приходимо до деякої ідеалізації системи.

Систему ГЗВП, оправка, різець представимо механічною моделлю, що складається із зосереджених мас, з'єднаних пружними зв'язками. Пружні



зв'язки допустимо невагомими, що характеризуються постійними коефіцієнтами жорсткості. Місцевими напруженнями і деформаціями в місцях з'єднання окремих елементів системи будемо нехтувати. Із всіх можливих дійсних перехідних процесів і характерів зміни прикладених сил виберемо такі, щоб одержати максимально можливі в перехідному процесі значення моментів та сил пружності в окремих елементах системи.

Згідно вищевказаного систему із ГЗВП, оправки, різця можна звести до еквівалентної багатомасової системи (рис. 2.8.)

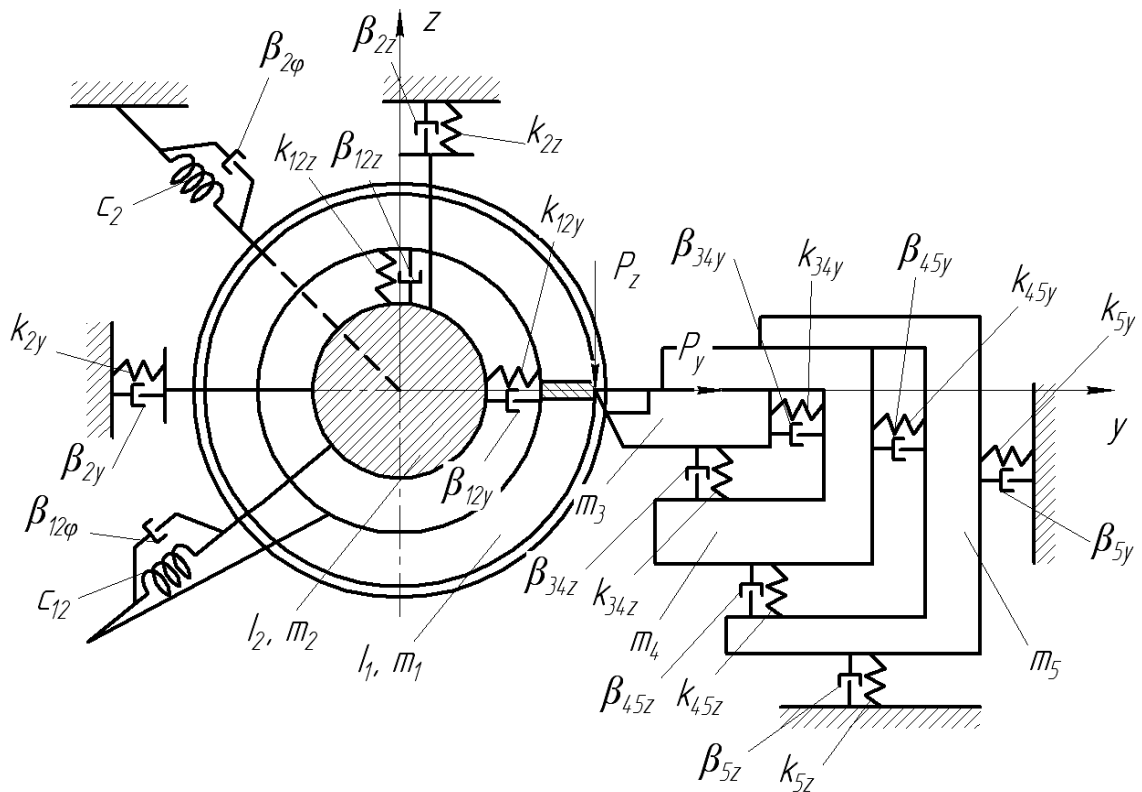


Рисунок 2.8 – Схема динамічної моделі процесу проточування ГЗВП

До зосереджених мас, які показані на рисунку 2.8, віднесено:  $I_1$  – зведений момент інерції ГЗВП;  $I_2$  – зведений момент інерції оправки;  $m_1$  – маса ГЗВП;  $m_2$  – маса оправки;  $m_3$  – маса різця;  $m_4$  – маса різцетримача;  $m_5$  – маса супорта. Витки ГЗ стиснені між собою і не щільно прилягають один до одного. При проточуванні ГЗ проходить деформація листового матеріалу ГЗВП, що негативно впливає на якість обробленої поверхні. Крім цього, на рис. 2.8 позначені зведені коефіцієнти крутильної жорсткості:

$C_{12}$  – зведена жорсткість ГЗВП,  $C_2$  – зведена жорсткість оправки, а також показано зведені коефіцієнти лінійної жорсткості:  $k_{12z}$ ,  $k_{12y}$  – зведена лінійна жорсткість ГЗВП відповідно в напрямках осей  $z$  та  $y$ ;  $k_{2z}$ ,  $k_{2y}$  – зведена лінійна жорсткість оправки в напрямках осей  $z$  та  $y$ ;  $k_{34z}$ ,  $k_{34y}$  – зведена лінійна жорсткість різця в напрямках осей  $z$  та  $y$ ;  $k_{45z}$ ,  $k_{45y}$  – зведена лінійна жорсткість різцетримача відповідно в напрямках осей  $z$  та  $y$ ;  $k_{5z}$ ,  $k_{5y}$  – зведена лінійна жорсткість супорта відповідно в напрямках осей  $z$  та  $y$ . Крім цього позначені коефіцієнти демпфування:  $\beta_{12\varphi}$  – коефіцієнт демпфування крутильних коливань між оправою та ГЗВП,  $\beta_{2\varphi}$  – коефіцієнт демпфування крутильних коливань між оправкою та шпинделем;  $\beta_{12z}$ ,  $\beta_{12y}$  – коефіцієнти демпфування лінійних коливань між оправою та ГЗВП в напрямках осей  $z$  та  $y$ ;  $\beta_{2z}$ ,  $\beta_{2y}$  – коефіцієнти демпфування лінійних коливань між оправкою та шпинделем в напрямках осей  $z$  та  $y$ ;  $\beta_{34z}$ ,  $\beta_{34y}$  – коефіцієнти демпфування лінійних коливань між різцем та різцетримачем в напрямках осей  $z$  та  $y$ ;  $\beta_{45z}$ ,  $\beta_{45y}$  – коефіцієнти демпфування лінійних коливань між різцетримачем та супортом в напрямках осей  $z$  та  $y$ ;  $\beta_{5z}$ ,  $\beta_{5y}$  – коефіцієнти демпфування лінійних коливань між супортом та станиною в напрямках осей  $z$  та  $y$ .

На масу  $I_1$ ,  $m_1$ , а отже і на ГЗВП та різець  $m_3$ , буде діяти сила різання (відділення стружки), що включає ударні навантаження та силу опору переміщенню від зношення інструменту по задній поверхні і розкладена на тангенціальну складову  $P_z$  та радіальну складову  $P_y$ .

Проточування ГЗВП можна розглядати як перетин двох поверхонь: зовнішнього діаметра ГЗВП і гвинтової поверхні обробки від подачі різця. Відносний кут різання  $\gamma_3$  визначаємо по формулі:

$$\gamma_3 = \gamma_1 - \gamma_2, \quad (2.51)$$

де  $\gamma_1$  – кут підйому середньої лінії зовнішнього радіуса ГЗВП, град;  $\gamma_2$  – кут підйому гвинтової лінії подачі різця, град.

При цьому кути  $\gamma_1$  і  $\gamma_2$  визначаємо із виразів:

$$\gamma_1 = \arctg \frac{T}{2 \cdot \pi \cdot r}, \quad (2.52)$$

$$\gamma_2 = \operatorname{arctg} \frac{S}{2 \cdot \pi \cdot r}, \quad (2.53)$$

де  $T$  – крок ГЗВП, мм;  $r$  – радіус проточування, мм;  $S$  – подача різця, мм/об.

Закон зміни навантажень на ГЗВП можна подати як функцію від часу  $t$  чи від величини взаємного переміщення вершини різця та ГЗВП по довжині  $l$  лінії контакту інструменту з полотном ГЗВП в нерухомих координатах. Довжину лінії контакту визначаємо із залежності:

$$l = \frac{H + \delta}{\sin(\gamma_1 \pm \gamma_2)}, \quad (2.54)$$

де  $H$  – товщина витка спіралі ГЗВП, мм;  $\delta$  – прогин поверхні ГЗВП по нормалі до точки контакту, мм;

У формулі (2.54) знак  $+$  відноситься до випадку обробки правим різцем правих спіралей, а знак  $-$  при обробці лівих спіралей.

За час контакту різця із ГЗВП можна виділити наступні етапи:

1. Зближення різця і ГЗВП на швидкості  $V$ , внаслідок чого проходить удар.

2. Зсув металу із утворенням стружки (власне процес різання) із змінним в часі об'ємом деформованого металу і відповідно змінними глибиною різання  $t_p$  і подачею  $S$ .

3. Різання металу із постійними значеннями глибини різання  $t_p$  і подачі  $S$ .

4. Вихід ГЗВП із зони різання із змінними значеннями глибини різання  $t_p$  і подачі  $S$  з наступним затухаючим коливанням.

Час контакту різця із ГЗВП буде рівний:

$$t_K = \frac{l}{2 \cdot \pi \cdot r \cdot n}, \quad (2.55)$$

де  $n$  – кількість обертів шпинделя за секунду.

Час між перервами різання різця:

$$t_G = \frac{2\pi \cdot r - k \cdot l}{2 \cdot \pi \cdot r \cdot n}, \quad (2.56)$$

де  $k$  – кількість витків ГЗ, що піддаються проточуванню за один оберт оправки.

Вибираємо за узагальнені координати кути повороту інерційних мас  $\varphi_1$ ,  $\varphi_2$  та лінійні переміщення мас в напрямку осей  $z$  та  $y$ :  $z_1, z_2, z_3, z_4, z_5, y_1, y_2, y_3, y_4, y_5$ .

Кінетична енергія системи:

$$T = \frac{I_1 \cdot \dot{\varphi}_1^2}{2} + \frac{I_2 \cdot \dot{\varphi}_2^2}{2} + \frac{m_1 \cdot \dot{z}_1^2}{2} + \frac{m_2 \cdot \dot{z}_2^2}{2} + \frac{m_3 \cdot \dot{z}_3^2}{2} + \frac{m_4 \cdot \dot{z}_4^2}{2} + \frac{m_5 \cdot \dot{z}_5^2}{2} + \frac{m_1 \cdot \dot{y}_1^2}{2} + \frac{m_2 \cdot \dot{y}_2^2}{2} + \frac{m_3 \cdot \dot{y}_3^2}{2} + \frac{m_4 \cdot \dot{y}_4^2}{2} + \frac{m_5 \cdot \dot{y}_5^2}{2}. \quad (2.57)$$

Потенціальна енергія системи:

$$\begin{aligned} \Pi = & \frac{C_{12} \cdot (\varphi_2 - \varphi_1)^2}{2} + \frac{C_2 \cdot \varphi_2^2}{2} + \frac{k_{12z} \cdot (z_2 - R\varphi_1 - z_1)^2}{2} + \frac{k_{2z} \cdot z_2^2}{2} + \frac{k_{34z} \cdot (z_4 - z_3)^2}{2} + \\ & + \frac{k_{45z} \cdot (z_5 - z_4)^2}{2} + \frac{k_{5z} \cdot z_5^2}{2} + \frac{k_{12y} \cdot (y_2 - y_1)^2}{2} + \frac{k_{2y} \cdot y_2^2}{2} + \frac{k_{34y} \cdot (y_4 - y_3)^2}{2} + \\ & + \frac{k_{45y} \cdot (y_5 - y_4)^2}{2} + \frac{k_{5y} \cdot y_5^2}{2}. \end{aligned} \quad (2.58)$$

Функція розсіювання:

$$\begin{aligned} \Phi = & \frac{\beta_{12\varphi} \cdot (\dot{\varphi}_2 - \dot{\varphi}_1)^2}{2} + \frac{\beta_{2\varphi} \cdot \dot{\varphi}_2^2}{2} + \frac{\beta_{12z} \cdot (\dot{z}_2 - R\dot{\varphi}_1 - \dot{z}_1)^2}{2} + \frac{\beta_{2z} \cdot \dot{z}_2^2}{2} + \frac{\beta_{34z} \cdot (\dot{z}_4 - \dot{z}_3)^2}{2} + \\ & + \frac{\beta_{45z} \cdot (\dot{z}_5 - \dot{z}_4)^2}{2} + \frac{\beta_{5z} \cdot \dot{z}_5^2}{2} + \frac{\beta_{12y} \cdot (\dot{y}_2 - \dot{y}_1)^2}{2} + \frac{\beta_{2y} \cdot \dot{y}_2^2}{2} + \frac{\beta_{34y} \cdot (\dot{y}_4 - \dot{y}_3)^2}{2} + \\ & + \frac{\beta_{45y} \cdot (\dot{y}_5 - \dot{y}_4)^2}{2} + \frac{\beta_{5y} \cdot \dot{y}_5^2}{2}. \end{aligned} \quad (2.59)$$

Складемо диференціальні рівняння руху системи для вимушених коливань, застосовуючи рівняння Лагранжа другого роду. Для мас, що здійснюють крутильні коливання:

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial T}{\partial \dot{\varphi}_n} + \frac{\partial \Pi}{\partial \varphi_n} + \frac{\partial \Phi}{\partial \dot{\varphi}_n} = P_z(t) \cdot R, \quad (2.60)$$

де  $\varphi_n$  – узагальнені координати;  $R$  – радіус проточування.

Для мас, що здійснюють лінійні переміщення:

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial T}{\partial \dot{z}_n} + \frac{\partial \Pi}{\partial z_n} + \frac{\partial \Phi}{\partial \dot{z}_n} = P_z(t); \quad (2.61)$$

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial T}{\partial \dot{y}_n} + \frac{\partial \Pi}{\partial y_n} + \frac{\partial \Phi}{\partial \dot{y}_n} = P_y(t). \quad (2.62)$$

Виконуючи відповідні перетворення рівнянь (2.60 – 2.62), враховуючи функцію розсіювання  $\Phi$ , одержимо систему рівнянь вимушених коливань:

$$\left. \begin{aligned} I_1 \cdot \ddot{\varphi}_1 + C_{12} \cdot (\varphi_1 - \varphi_2) + \beta_{12} (\dot{\varphi}_1 - \dot{\varphi}_2) - k_{12z} (z_2 - R\varphi_1 - z_1)R - \beta_{12z} (\dot{z}_2 - R\dot{\varphi}_1 - \dot{z}_1)R &= P_z(t) \cdot R; \\ I_2 \cdot \ddot{\varphi}_2 + C_2 \cdot \varphi_2 + C_{12} \cdot (\varphi_2 - \varphi_1) + \beta_2 \cdot \varphi_2 + \beta_{12} (\dot{\varphi}_2 - \dot{\varphi}_1) &= 0; \\ m_1 \cdot \ddot{z}_1 - k_{12z} (z_2 - R\varphi_1 - z_1) - \beta_{12z} (\dot{z}_2 - R\dot{\varphi}_1 - \dot{z}_1) &= P_z(t); \\ m_2 \cdot \ddot{z}_2 + k_{12z} (z_2 - R\varphi_1 - z_1) + \beta_{12z} (\dot{z}_2 - R\dot{\varphi}_1 - \dot{z}_1) + k_{2z} z_2 + \beta_{2z} \dot{z}_2 &= 0; \\ m_3 \cdot \ddot{z}_3 - k_{34z} (z_4 - z_3) - \beta_{34z} (\dot{z}_4 - \dot{z}_3) + k_{2z} z_2 &= P_z(t); \\ m_4 \cdot \ddot{z}_4 + k_{34z} (z_4 - z_3) + \beta_{34z} (\dot{z}_4 - \dot{z}_3) - k_{45z} (z_5 - z_4) - \beta_{45z} (\dot{z}_5 - \dot{z}_4) &= 0; \\ m_5 \cdot \ddot{z}_5 + k_{45z} (z_5 - z_4) + \beta_{45z} (\dot{z}_5 - \dot{z}_4) + k_{5z} z_5 + \beta_{5z} \dot{z}_5 &= 0 \\ m_1 \cdot \ddot{y}_1 - k_{12y} (y_2 - y_1) - \beta_{12y} (\dot{y}_2 - \dot{y}_1) &= P_y(t); \\ m_2 \cdot \ddot{y}_2 + k_{12y} (y_2 - y_1) + \beta_{12y} (\dot{y}_2 - \dot{y}_1) + k_{2y} y_2 + \beta_{2y} \dot{y}_2 &= 0; \\ m_3 \cdot \ddot{y}_3 - k_{34y} (y_4 - y_3) - \beta_{34y} (\dot{y}_4 - \dot{y}_3) &= P_y(t); \\ m_4 \cdot \ddot{y}_4 + k_{34y} (y_4 - y_3) + \beta_{34y} (\dot{y}_4 - \dot{y}_3) - k_{45y} (y_5 - y_4) - \beta_{45y} (\dot{y}_5 - \dot{y}_4) &= 0; \\ m_5 \cdot \ddot{y}_5 + k_{45y} (y_5 - y_4) + \beta_{45y} (\dot{y}_5 - \dot{y}_4) + k_{5y} y_5 + \beta_{5y} \dot{y}_5 &= 0. \end{aligned} \right\} (2.63)$$

Враховуючи те, що на початку і в кінці зони різання проходить зміна величини глибини різання  $t_p$  і подачі  $S$ , на цих ділянках сили різання  $P_z(t)$  та  $P_y(t)$  представимо відповідно зростаючою і спадаючою лінійними залежностями.

На ділянці, де глибина різання і подача є постійними величинами, сили різання  $P_z(t)$  та  $P_y(t)$  з достатньою точністю приймаємо також постійними, що визначаються емпіричними залежностями:

$$P_{zC} = 10 \cdot C_{PZ} \cdot t_P^x \cdot S^y \cdot V^n \cdot K_z, \quad (2.64)$$

$$P_{yC} = 10 \cdot C_{PY} \cdot t_P^x \cdot S^y \cdot V^n \cdot K_z, \quad (2.65)$$

де  $C_{PZ}$ ,  $C_{PY}$ ,  $x$ ,  $y$ ,  $n$  – коефіцієнти, що визначаються експериментально і залежать від властивостей оброблюваних матеріалів і різальних матеріалів, а також від геометрії різального інструменту.

Тоді, використовуємо допоміжну безрозмірну алгебологічну функцію:

$$F_i(t) = \left( \frac{t_K}{2} - \left| \frac{t_K}{2} - (t - t_i) \right| \right) \cdot k_2, \quad (2.66)$$

де  $k_2$  – коефіцієнт, що визначає кут нахилу лінії зміни сил  $P_{zi}$  та  $P_{yi}$ ;  $t_i$  – момент часу, коли проходить врізання різця у виток ГЗ.

Використовуючи рівняння (2.66), сили різання  $P_{zi}$  та  $P_{yi}$  представимо залежностями:

$$P_{zi}(t) = \frac{F_i(t) + P_{zC} - |F_i(t) - P_{zC}| + |F_i(t) + P_{zC} - |F_i(t) - P_{zC}||}{4}. \quad (2.67)$$

$$P_{yi}(t) = \frac{F_i(t) + P_{yC} - |F_i(t) - P_{yC}| + |F_i(t) + P_{yC} - |F_i(t) - P_{yC}||}{4}. \quad (2.68)$$

Тоді функції, що описують періодичність взаємодії різця із ГЗ визначаємо за формулами:

$$P_z(t) = \sum_{i=1}^n P_{zi}(t); \quad (2.69)$$

$$P_y(t) = \sum_{i=1}^n P_{yi}(t). \quad (2.70)$$

Приклад використання функцій (2.65), (2.67), (2.68), (2.70) при проточуванні гвинтових елементів із змінною глибиною різання під час періодичного врізання представлено на рисунку 2.9.

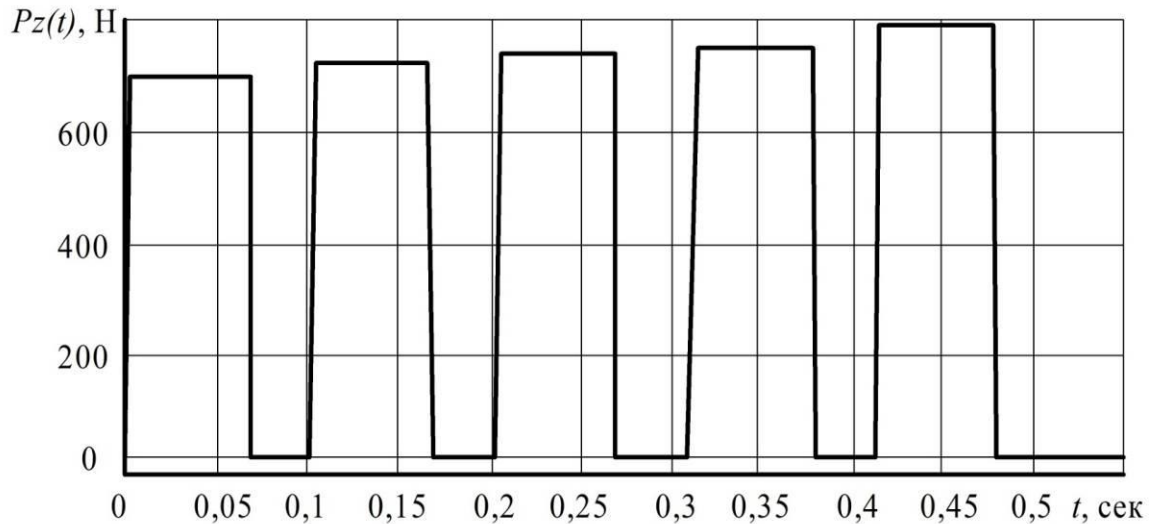


Рисунок 2.9. - Графік зміни сили різання  $P_z(t)$  у часі  $t$

Початкові умови для системи рівнянь записуємо з наступних міркувань. При проточуванні ГЗВП до моменту зіткнення різця із витком, від якого і ведемо відлік часу, не відбувається деформації пружних елементів системи. Тому, початкові відносні координати і швидкості приймаємо рівними нулю. Подальша деформація відбувається за рахунок дії зовнішніх сил. Отже, для  $t = 0$  маємо:

$$\begin{aligned} \varphi_1(0) = 0, \varphi_2(0) = 0, z_1(0) = 0, z_2(0) = 0, z_3(0) = 0, z_4(0) = 0, z_5(0) = 0; \\ y_1(0) = 0, y_2(0) = 0, y_3(0) = 0, y_4(0) = 0, y_5(0) = 0, \dot{\varphi}_1(0) = 0, \dot{\varphi}_2(0) = 0; \end{aligned} \quad (2.71)$$

$$\begin{aligned} \dot{z}_1(0) = 0, \dot{z}_2(0) = 0, \dot{z}_3(0) = 0, \dot{z}_4(0) = 0, \dot{z}_5(0) = 0, \dot{y}_1(0) = 0, \dot{y}_2(0) = 0; \\ \dot{y}_3(0) = 0, \dot{y}_4(0) = 0, \dot{y}_5(0) = 0. \end{aligned}$$

Розв'язок системи диференціальних рівнянь (2.63) з початковими умовами (2.71) доцільно провести на комп'ютері із застосуванням стандартної підпрограми чисельного методу Рунге-Кутта.

За результатами досліджень представлено графічні залежності зміни кута деформації ГЗВП в часі (рис. 2.10), кута деформації оправки (рис. 2.11), лінійної деформації ГЗВП в часі (рис. 2.12) та лінійної деформації різця в часі (рис. 2.13) під час проточування ГЗВП радіусом 100 мм із сталі 08кп.

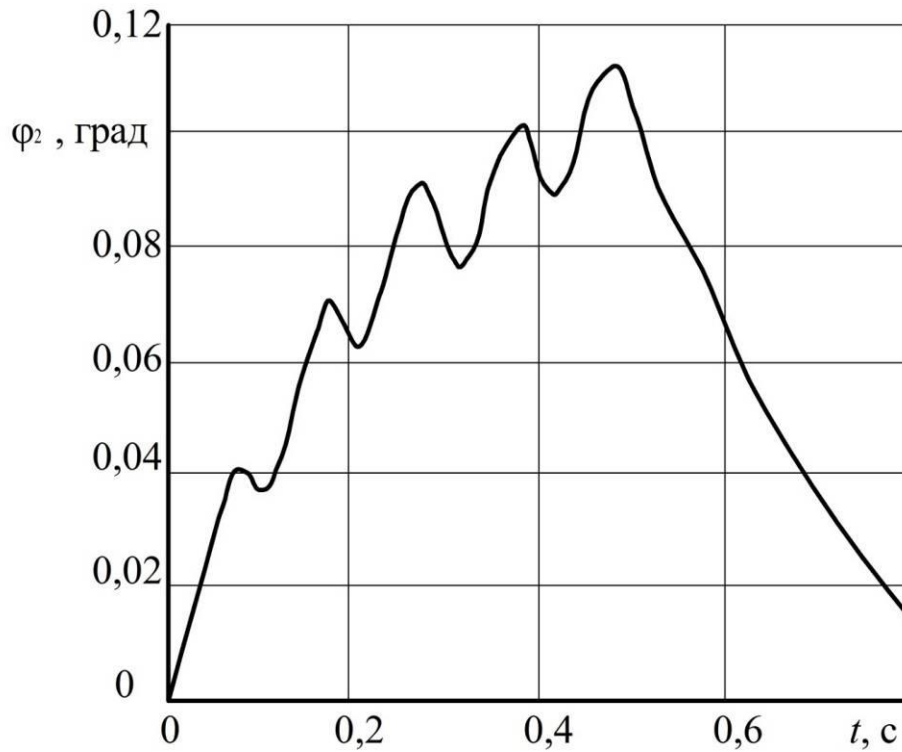


Рисунок 2.10. - Графік зміни кута деформації ГЗВП в часі

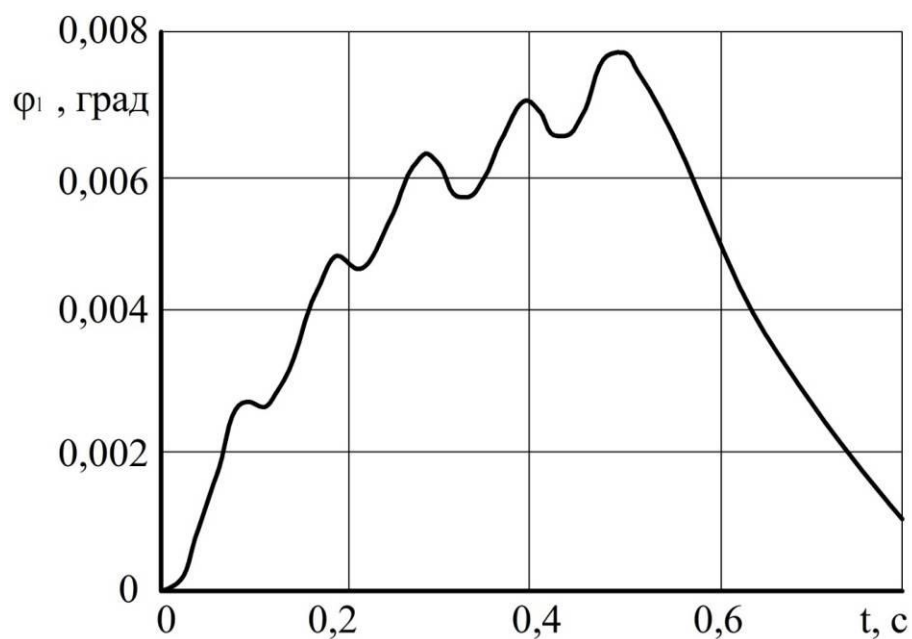


Рисунок 2.11. - Графік зміни кута деформації оправки в часі



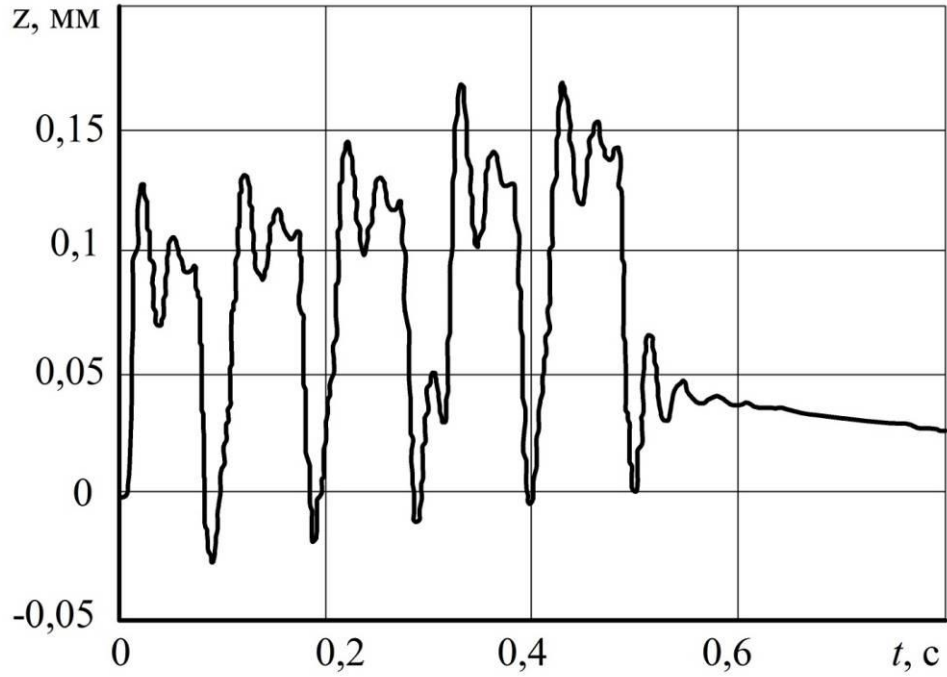


Рисунок 2.12. – Графік зміни лінійної деформації ГЗ в часі

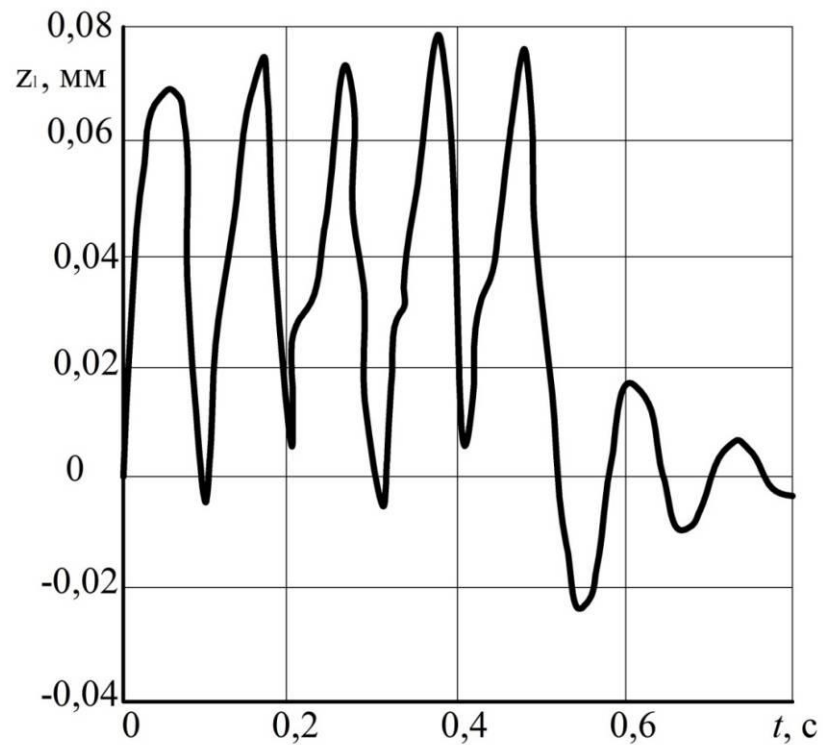


Рисунок 2.13. – Графік зміни лінійної деформації різця в часі

Для перевірки адекватності запропонованої системи диференціальних рівнянь усі її складові визначались експериментально. Із представлених графічних залежностей видно, що кут деформації ГЗВП в часі спочатку зростає при збільшенні глибини різання до 0,15 градусів, потім поступово знижується із затухаючими коливаннями до нуля при виході різця із зони різання.

## 2.4 Висновки

1. Досліджено силові параметри формоутворення полицок на ПГЗ за допомогою формувальних роликів. Встановлено, що в процесі навивання відбуваються стиснення волокон стрічки на внутрішньому діаметрі і розтягування волокон стрічки на зовнішньому діаметрі гвинтової заготовки. Також встановлено, що в процесі навивання гвинтових елементів в холодному стані в матеріалі заготовки проходить процес зміцнення, внаслідок чого зростають зусилля деформації в межах 6100 – 6400 Н для сталі 08кп при куті нахилу полицки  $\alpha = 10^\circ$  і відповідно 6150 – 6500 Н та 6190 – 6700 Н для кутів  $\alpha = 20^\circ$  і  $\alpha = 30^\circ$ .

2. Встановлено, що при змінній ширини полицки  $B$ , кута нахилу полицки  $\alpha$  та товщини полицки  $s$  при зростанні яких відбувається ріст моменту  $M_o$  від 12 – 45 Нм для товщини полицки  $s = 1$  мм, для  $s = 1,5$  мм в межах 22 – 75 Нм, та 33 – 95 Нм для  $s = 2$  мм, всі дані отримані для матеріалу заготовки сталь 08кп та куті нахилу полицки  $\alpha = 35^\circ$ .

3. Розроблена розрахункова схема динамічної моделі процесу проточування профільних гвинтових заготовок. Виведенні аналітичні залежності для визначення кінетичної і потенціальної енергій системи динамічної моделі процесу проточування і значення функції розсіювання. Складене диференціальне рівняння руху системи застосувавши рівняння Лагранжа другого роду для визначення крутильних і лінійних коливань гвинтової заготовки, оправи та різців. На основі цих розрахунків виведені аналітичні залежності для визначення динамічних навантажень на систему.

4. Побудовані графічні залежності зміни величини сил різання в часі, кута деформації гвинтових заготовок в часі, кута деформації оправки під час проточування гвинтової заготовки радіусом 100 мм із сталі 08кп. Представлені також графічні залежності зміни лінійної деформації гвинтової заготовки та різця в часі. В результаті проведених теоретичних досліджень встановлено зміну зусиль різання в часі від 690 – 780 Н на протязі 0.5 с. Визначено коливання різця в часі в межах - 0.02 – 0.07 мм та коливання гвинтової заготовки в часі в межах - 0.03 – 0.17 мм на проміжку часу 0.7 с.

## РОЗДІЛ 3

# ПРОГРАМА І МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ВИГОТОВЛЕННЯ ВИГНУТОГО ПРОФІЛЮ НА ГВИНТОВІЙ ЗАГОТОВЦІ

### 3.1 Програма експериментальних досліджень

Згідно мети дисертаційної роботи і поставлених задач, програма проведення експериментальних досліджень включає реалізацію наступних завдань:

1. На основі виконаного аналізу відомих конструкцій і технологій виготовлення ГЗВП розробити методику формоутворення профільної ГЗ шляхом виконання вигнутого профілю.

2. Спроекувати та виготовити функціонально здатні зразки технологічного устаткування та інструменту для формоутворення вигнутого профілю на ГЗ та провести комплекс експериментальних досліджень з визначення технічних характеристик формоутворюючого ролика в залежності від параметрів вигнутого профілю.

3. Розробити методику та провести повнофакторний експеримент з виведенням рівнянь регресії залежності крутного моменту формоутворення вигнутого профілю на ГЗ від кута нахилу полицки  $\alpha$  в поперечному перерізі, діаметра заготовки  $D$  і товщини витка спіралі  $s$  для різних матеріалів.

4. Розробити методику проведення експериментальних досліджень з визначенням сил різання при проточуванні зовнішньої крайки вигнутого профілю ГЗ.

### 3.2 Методики і технологічне устаткування для реалізації процесу формоутворення вигнутого профілю на гвинтовій заготовці

В ході виконання дисертаційної роботи були проведені експериментальні дослідження з отриманням різних конструктивних параметрів вигнутого профілю на ГЗ в поперечному перерізі, з

використанням формувального інструменту для стрічкових ГЗ різних типорозмірів. Особливості формоутворення вигнутого профілю зумовлюється їх геометричною формою.

В якості експериментальних зразків використовували ГЗ із зовнішнім діаметром 90, 104, 118 мм, з внутрішнім діаметром 50, 55, 60 мм та товщиною витка спіралі 1, 1,5, 2 мм. Матеріали ГЗ – сталь 08кп, сталь 20, сталь 30.

### 3.2.1 Методика дослідження процесу формоутворення вигнутого профілю на гвинтовій заготовці при використанні шнекової оправи

На рис. 3.1 представлено шнекові оправи внутрішнім діаметром 50, 55, 60 мм, зовнішнім діаметром 90, 104, 118 мм. Дані шнекові оправи мають, з однієї сторони, наварені ребра жорсткості для підтримання витка гвинтової спіралі від прогинання в напрямку її формоутворення. Експерименти проводили для ГЗ із матеріалів сталь 08кп, сталь 20, сталь 30.

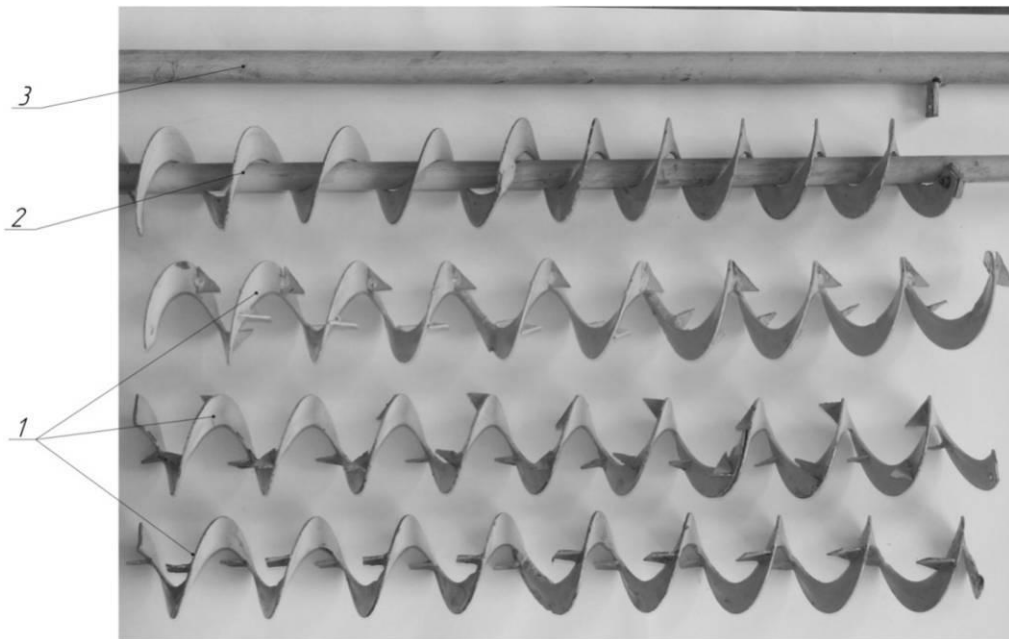


Рисунок 3.1. – Устаткування для формоутворення вигнутого профілю на ГЗ:

1 – гвинтові спіралі підвищеної жорсткості, 2 – шнекова оправа із закріпленою гвинтовою спіраллю підвищеної жорсткості, 3 – вал

Геометричні параметри формувального інструменту:

1. Притискна шайба: ширина - 10 мм; зовнішній діаметр - 90 і 110 мм; внутрішній діаметр - 60 мм.

2. Формувальне кільце: кут нахилу полички  $\alpha$  відносно осі обертання ролика -  $30^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $60^\circ$ ; ширина - 10 мм.

Було проведено три серії експериментів для кожної із сталей. В патрон токарного верстату закріплювався вал діаметром, відповідним внутрішньому діаметру шнекової оправи. Після цього на вал закріплювали шнекову оправу з необхідними геометричними параметрами. З лівого кінця оправа жорстко прикріплювалась до вала, щоб унеможливити її провертання. В подальшому на оправу встановлювали досліджувану ГЗ (рис. 3.2), а формувальний інструмент його робочою поверхнею підводили до першого витка спіралі (рис. 3.3), включали головний привід і подачу верстату на відповідний крок спіралі, що призводило до формоутворення вигнутого профілю на досліджуваній ГЗ.



Рисунок 3.2. – Шнекова оправа із встановленою ГЗ

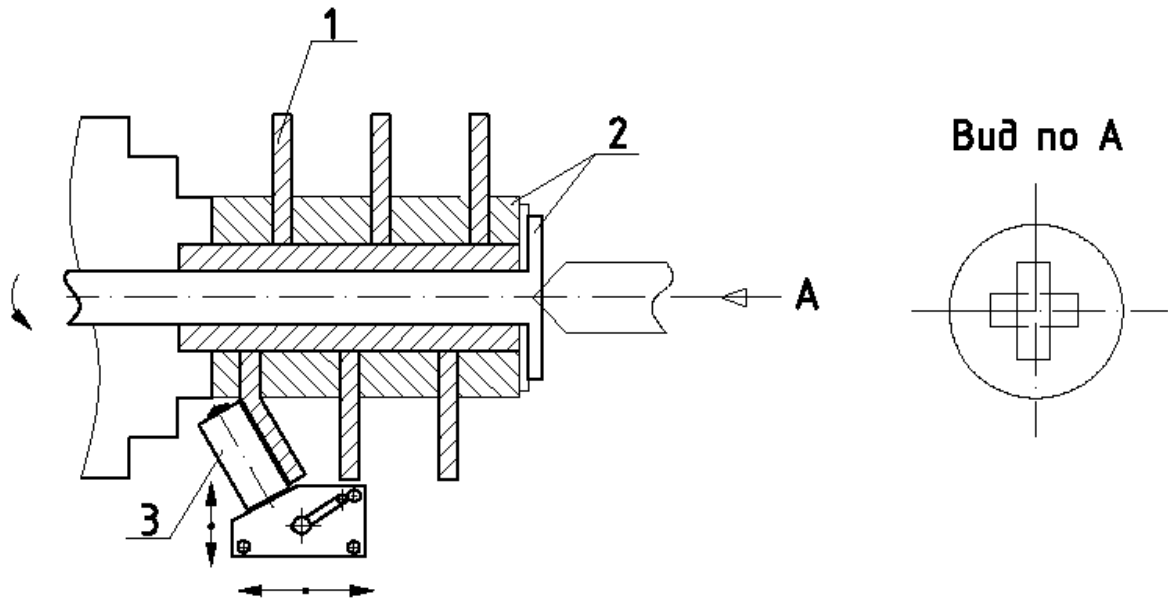


Рисунок 3.3. – Конструктивна схема пристрою для виготовлення вигнутого профілю на ГЗ: 1 – ГЗ; 2 - система кріплення ГЗ;  
3 - формувальний інструмент

### 3.2.2 Методика дослідження процесу формоутворення вигнутого профілю на ГЗ формувальним роликом

В дисертаційній роботі були проведені експериментальні дослідження формоутворення вигнутого профілю на ГЗ з допомогою формувальних втулок, кілець та формувального ролика. Деталі виготовлено із сталі 40Х. Геометричні параметри формувальних втулок:

1. Кут нахилу формоутворюючої поверхні  $\alpha$  відносно осі обертання ГЗ -  $15^\circ$ ,  $25^\circ$ ,  $35^\circ$ .
2. Висота вертикальної частини стрічки  $h$  - 10, 15, 20 мм;

Параметри ГЗ однакові як і для першого методу.

Запропонований метод використовується для виготовлення вигнутого профілю на ГЗ, які отримані навиванням на оправу щільним пакетом. Формувальний інструмент при реверсній подачі формувальної втулки і головного руху верстату дає змогу здійснити калібрування отриманої заготовки на необхідний крок.

Для виготовлення ГЗВП спроектовано і виготовлено технологічне

устаткування (рис. 3.4) Устаткування складається з формувального ролика (рис. 3.5), набору формувальних нахилених кілець (рис. 3.6), формувальних втулок (рис. 3.7), та оправи (рис. 3.8).

На рис. 3.4 представлено початковий етап формоутворення вигнутого профілю на ГЗ з допомогою формувальної втулки при формуванні полочки висотою 5 мм. Для даного методу виготовлення вигнутого профілю на ГЗ було проведено дослідження із використанням повнофакторного експерименту, методика якого наведена в підрозділі 3.4, результати представлені в розділі 4.



Рисунок 3.4. – Початковий етап формоутворення вигнутого профілю ГЗ з допомогою формувального ролика: 1 – оправа, 2 – формувальна втулка, 3 – вигнутий профіль ГЗ, 4 – формувальний інструмент

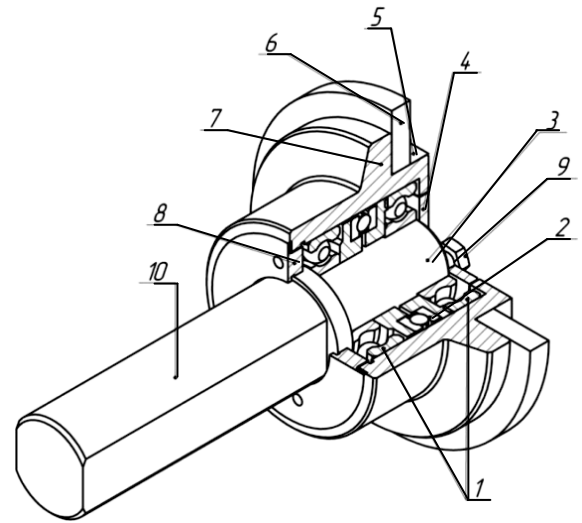
Формувальний робочий інструмент (рис. 3.5), який складається із вала 3 на який через підшипниковий вузол 1 та 2 встановлено корпус 7 на технологічному уступі з лівого кінця розміщенні формувальне кільце 5 та притискна шайба 6. З обох кінців корпуса встановлено захисні кришки 4 та 8.



На торці вала закріпоено два болти 9, які виконують роль кріпильних елементів. Інша частина вала робочого інструменту виконана у формі державки 10 для його кріплення в патроні верстату.



а)



б)

Рисунок 3.5 – Формувальний ролик: а) загальний вигляд; б) конструктивна схема

Робота пристрою здійснюється наступним чином. На робочу поверхню формувального ролика встановлюють притискну шайбу (рис. 3.6.а) для одержання необхідної точності висоти полицки, під час процесу формоутворення ГЗ та формувальне кільце (рис. 3.6.б) з відповідним нахилом робочої поверхні для формоутворення полицки на ГЗ необхідних параметрів. Пристрій із закріпленими механізмами встановлюють в супорт верстату, ГЗ сформовану щільним пакетом закріплюють на оправі (рис. 3.8) з формувальною втулкою (рис. 3.7). Робочу частину пристрою, із закріпленим формувальним роликом заводять у взаємодію із ГЗ. Після налагодження пристрою і входження його у взаємодію із ГЗ з формувальним кільцем формувального ролика включають головний рух і рух подачі верстату, після чого починається процес формоутворення. Реверсна подача головного руху верстату дає змогу здійснити калібрування отриманої заготовки на необхідний крок. Після цього ГЗ, яка перетворюється у ГЗВП, знімають, встановлюють наступну і знову здійснюють процес формоутворення.

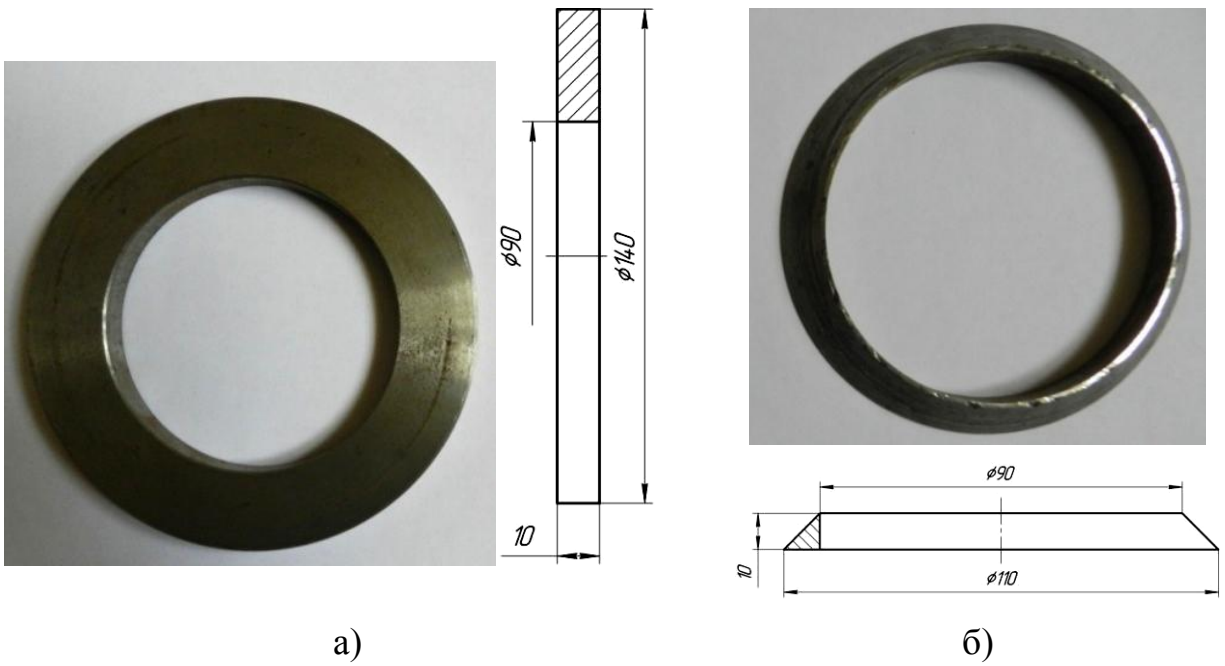


Рисунок 3.6 – Деталі формувального ролика:

а) притискна шайба; б) формувальне кільце

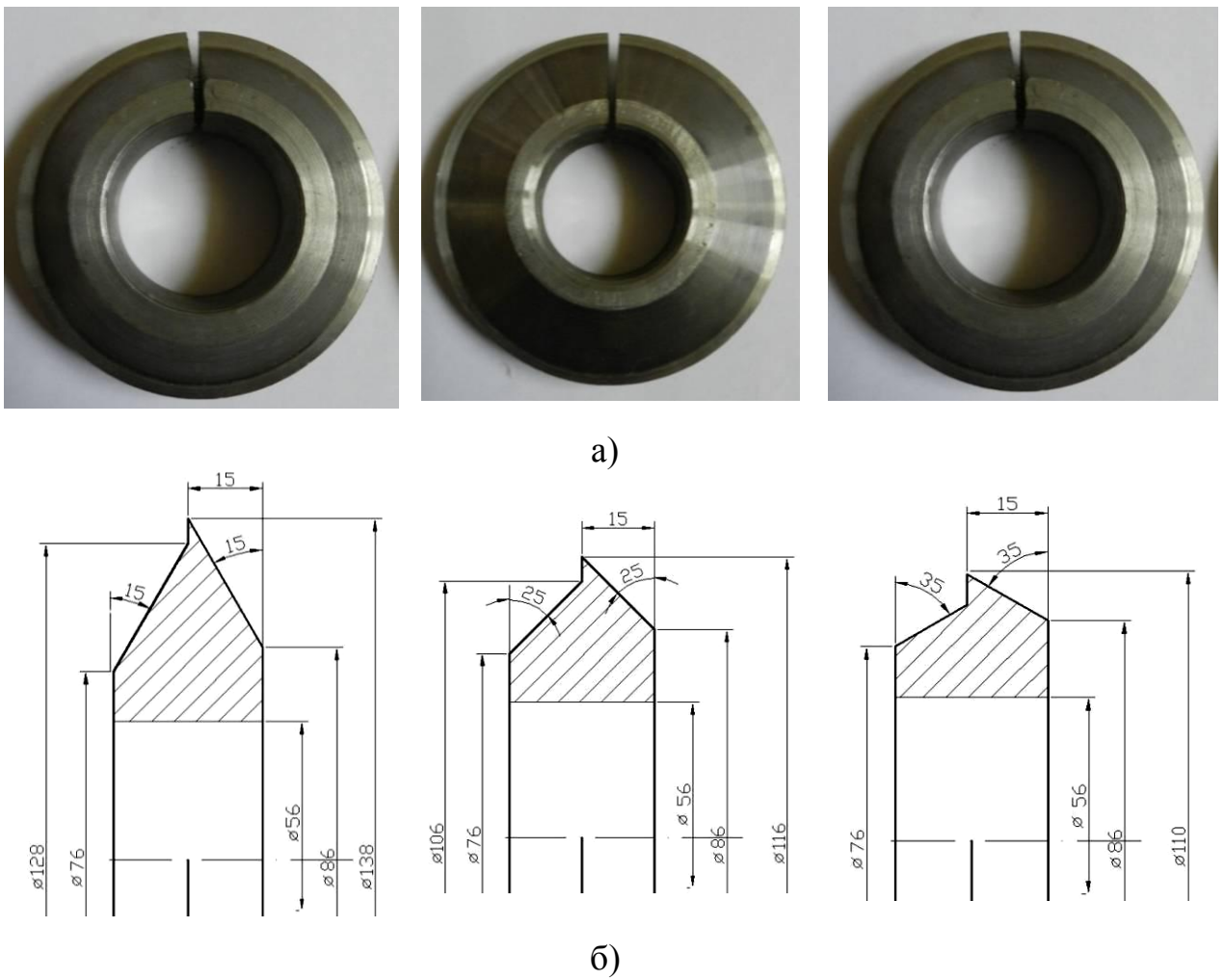
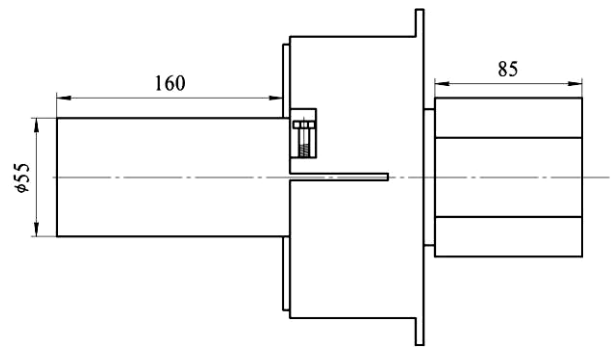


Рисунок 3.7 – Формувальні втулки: а) загальний вигляд б) конструктивні схеми



а)



б)

Рисунок 3.8 – Оправа: а) загальний вигляд; б) конструктивна схема

### 3.3 Методика дослідження зусиль формоутворення вигнутого профілю на гвинтовій заготовці з використанням повнофакторного експерименту

Методикою експериментальних досліджень передбачалось проведення експериментальних досліджень та вимірювань технологічних, силових і конструктивних параметрів процесів гнуття полички на ГЗ, а також випробування даних заготовок у лабораторних та виробничих умовах з метою забезпечення необхідних параметрів точності, надійності у відповідності з технічними умовами експлуатації.

За допомогою розробленого і зrealізованого устаткування та інструменту здійснювали гнуття полички на ГЗ в широкому діапазоні зміни геометричних параметрів, що дозволило з більшою точністю встановити закономірності та особливості процесів формоутворення полички. Експериментальне дослідження процесів навивання ГЗ з вигнутим профілем на оправу проводили для ГЗ з матеріалів: сталь 08кп, сталь 20, сталь 30, товщиною витка спіралі  $s$  в межах 1-2 мм, кута нахилу формувальної втулки  $\alpha$  в межах 15-35 град, діаметра навивної заготовки  $D$  в межах 90-118 мм.

Навивання ГЗ здійснювали на токарних верстатах моделей 16K20, 16E16КП, частоту обертання шпинделя попередньо встановлювали в межах  $\omega = 1,0 \dots 1,5 \text{ c}^{-1}$ . Для пуску головного руху верстата і регулювання частоти його обертання використовували перетворювач частоти Altivar та програмне

забезпечення PowerSuite v.2.5.0. Зусилля гнуття полички заміряли з допомогою перетворювача частоти ALTIVAR, дані з якого поступали на персональний комп'ютер. Результати зміни крутного моменту і потужності двигуна в часі отримували у форматі графічних і табличних залежностей у вікні програми дисплея комп'ютера.

Моделювання процесів навивання ГЗ залежить від багатьох факторів: фізико-механічних властивостей матеріалу, геометричних параметрів заготовки, характеру навантажень тощо. Зазначені фактори носять стохастичний випадковий характер, тому необхідно було провести комплекс експериментальних досліджень для визначення домінуючих факторів, які суттєво впливають на процес навивання ГЗ. В процесі проведення статистичного оброблення отриманих результатів у математичні моделі вводили емпіричні залежності, які відображали зміну моменту гнуття залежно від товщини витка спіралі, діаметра заготовка та кута нахилу формувальної втулки.

Заготовку встановлювали в спеціальній пристрій та закріплювали в трьохкулачковому патроні токарно-гвинторізного верстату моделі 16K20, причому розроблений пристрій легко встановлюється саме на тих верстатах, які широко використовуються в ремонтних майстернях підприємств, що займаються ремонтом обладнання. Заготовку в пристрій встановлювали вручну.

Для встановлення залежності зусиль гнуття від товщини витка спіралі, діаметра заготовка та кута нахилу формувальної втулки були проведені експериментальні дослідження, реалізація яких відбувалася шляхом планування та проведення трьохфакторного експерименту типу ПФЕ  $3^3$ . Крім цього, дослідження проводились для різних матеріалів заготовок: сталь 08кп, сталь 20, сталь 30. Таким чином, було отримано експериментальний масив параметрів оптимізації залежності від змінних факторів. Отримані числові значення зусиль гнуття заносили в таблицю повнофакторного експерименту. Оброблення отриманих результатів експериментів проводили за

загальновідомими методиками та методами статистичного оброблення з використанням загальновідомих методик кореляційного й регресійного аналізу експериментальних досліджень з метою отримання в кінцевому результаті емпіричних рівнянь регресії.

Для отримання регресійної моделі параметру оптимізації у вигляді повного квадратичного поліному вибирали відповідний умовний план повнофакторного експерименту, реалізацію якого проводили в певній послідовності.

Оскільки, при проведенні експериментів змінні незалежні фактори неоднорідні та мають різні одиниці вимірювання, а числа, що виражають значення цих факторів - різні порядки, тому їх приводили до єдиної системи обрахунків шляхом переходу від дійсних значень до кодованих.

Зв'язок між кодованими  $x_i$  та натуральними  $X_i$  змінними факторами встановлювали за залежністю [2, 33]:

$$x_i = \frac{X_i - X_{i0}}{\Delta X_i}, \quad (3.1)$$

де  $X_{i0}$  - натуральне значення  $i$ -го фактору на нульовому рівні;  $\Delta X_i$  - інтервал варіювання  $i$ -го фактору.

Нульовий рівень, або середнє значення вхідного фактору, визначали за формулою [2, 33]:

$$X_0 = \frac{X_{max} + X_{min}}{2}, \quad (3.2)$$

де  $X_0$  - числове значення нульового рівня вхідного фактору;  $X_{max}$  - числове значення верхнього рівня вхідного фактору;  $X_{min}$  - числове значення нижнього рівня вхідного фактору.

Визначали інтервали варіювання факторами [2, 33]:

$$\Delta X_i = \frac{X_{max} - X_{min}}{2}, \quad (3.3)$$

Вводили умовні позначення верхнього, нижнього та нульового рівнів варіювання факторів, відповідно +1, -1, 0, для побудови умовної план-матриці планування експериментів [33]. Результати кодування факторів та рівні їх варіювання наведено в табл. 3.1.

Таблиця 3.1

## Результати кодування факторів та їх рівні варіювання

Фактор	Натур. позн.	Кодов. позн.	Інтерв. варіюв.	Рівні варіювання					
				Натуральні			Кодові		
				Верх.	Ниж	Нуль	Верх.	Ниж	Нуль
Діаметр заготовки $D$ , мм	$x_1$	$x_1$	14 мм	118	90	104	+1	-1	0
Товщина витка спіралі $s$ , мм	$x_2$	$x_2$	0,5 мм	2	1	1,5	+1	-1	0
Кут нахилу формувальної втулки $\alpha$ , град	$x_3$	$x_3$	10°	35	15	25	+1	-1	0

З метою достовірної оцінки крутного моменту під час проведення експериментальних досліджень необхідну кількість вимірів показників, що контролюються (повторність дослідів), визначали за методикою, викладеною в [33]. При цьому дослідження проводили з трикратній повторюваності.

Після кодування вхідних факторів складали план-матрицю умовного повного факторного експерименту типу ПФЕ  $3^3$  для загального числа дослідів  $N = P^k$ , де  $P$  – кількість рівнів варіювання (три),  $k$  – кількість діючих вхідних факторів (три) в експерименті, які наведено в табл. 3.2.

Для реалізації плану-матриці експерименту з метою усунення впливу на результат досліджень параметру оптимізації неконтрольованих і нерегульованих факторів, провели рандомізацію план-матриці методом випадкового балансу, який було реалізовано способом витягуння

порядкових номерів дослідів з урни. Рандомізовану план-матрицю повнофакторного експерименту типу ПФЕ  $3^3$ . Отримані результати розрахунків зводили в таблицю отриманих результатів експериментальних досліджень [2, 33]. Оброблення отриманих результатів експериментів проводили за допомогою загальновідомої методики оброблення та аналізу проведених експериментальних досліджень.

Таблиця 3.2

Умовна план-матриця експерименту типу ПФЕ  $3^3$ 

№ досл.	Рівні факторів			Взаємодія факторів	Параметр оптимізації, У			Сере дні знач. У
					Повторюваність			
	$x_0$	$x_1$	$x_2$	$x_1x_2$	1	2	3	$U_{\text{сер.}}$
1-3	+1	+1	+1	+1	$U_{11}$	$U_{12}$	$U_{13}$	$U_{1c}$
4-6	+1	0	+1	0	$U_{21}$	$U_{22}$	$U_{23}$	$U_{2c}$
7-9	+1	-1	+1	-1	$U_{31}$	$U_{32}$	$U_{33}$	$U_{3c}$
10-12	+1	+1	-1	-1	$U_{41}$	$U_{42}$	$U_{43}$	$U_{4c}$
13-15	+1	0	-1	0	$U_{51}$	$U_{52}$	$U_{53}$	$U_{5c}$
15-18	+1	-1	-1	+1	$U_{61}$	$U_{62}$	$U_{63}$	$U_{6c}$
19-21	+1	+1	0	0	$U_{71}$	$U_{72}$	$U_{73}$	$U_{7c}$
22-24	+1	0	0	0	$U_{81}$	$U_{82}$	$U_{83}$	$U_{8c}$
25-27	+1	-1	0	0	$U_{91}$	$U_{92}$	$U_{93}$	$U_{9c}$

При цьому функцію відгуку (параметр оптимізації) приймали у вигляді апроксимуючої математичної моделі повного квадратного поліному [33], який описує реальний експериментальний процес:

$$\eta = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{23}x_2x_3 + b_{11}x_1^2 + b_{22}x_2^2 + b_{33}x_3^2, \quad (3.4)$$

де  $\eta$  - експериментальне значення крутного моменту, Н·м,  
 $b_0, b_1, b_2, b_3, b_{12}, b_{13}, b_{23}, b_{11}, b_{22}, b_{33}$  - коефіцієнти регресії відповідних  
 значень вхідних факторів;  $x_i$ ;  $x_1, x_2, x_3$  - вхідні кодовані фактори.

Коефіцієнти апроксимуючого поліному, представленого у вигляді  
 повного квадратичного рівняння, за умови ортогональності й симетрії  
 визначали за відповідними загальновідомими формулами [2]:

- вільний член  $b_0$  і коефіцієнти  $b_i$   $i$ -го фактору:

$$b_i = \frac{\sum_{u=1}^N x_{iu} \bar{y}_u}{\sum_{u=1}^N x_{iu}^2} = \frac{\sum_{u=1}^N x_{iu} \bar{y}_u}{N}; \quad (3.5)$$

коефіцієнти взаємодії  $b_{ij}$  і  $b_{ijk}$ :

$$b_{ij} = \frac{\sum_{u=1}^N x_{iu} x_{ju} \bar{y}_u}{N}; \quad b_{ijk} = \frac{\sum_{u=1}^N x_{iu} x_{ju} x_{ku} \bar{y}_u}{N}, \quad (3.6)$$

де  $x_{iu}$  - значення кодової змінної у відповідному стовпці плану  
 експерименту;  $\bar{y}_u$  - середній результат  $u$ -го дослід;  $u$  - порядковий номер  
 дослід;  $i$  - номер фактору;  $j, k$  - номер фактору, відмінного від  $i$ -го;  $N$  -  
 кількість проведених експериментів.

Статистичну значимість коефіцієнтів рівняння регресії  $b_i$  проводили за  
 критерієм Ст'юдента та визначали у такій послідовності [96]:

- визначали дисперсію похибок дослідів у рядках плану ПФЕ:

$$S_u^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n (y_{uj} - \bar{y}_u)^2, \quad (3.7)$$

де  $n$  - кількість паралельних дослідів або повторюваностей одного  
 експерименту;  $j = 1, 2, \dots, n$ ;



- визначали дисперсію відтворення дослідів:

$$S_y^2 = \frac{1}{N} \sum_{u=1}^N S_u^2, \quad (3.8)$$

- визначали похибку відтворення:

$$S_y = \sqrt{S_y^2}, \quad (3.9)$$

- визначали умову значимості коефіцієнтів  $b_i$  рівняння регресії:

$$b_{i(jk)} > \frac{t_T S_y}{\sqrt{Nn}}, \quad (3.10)$$

де  $t_T$  - табличне значення коефіцієнта Ст'юдента, яке вибирається з таблиці залежно від ступеня відповідності  $f$  та рівня значимості  $\alpha$  [96].

Ступінь відповідності визначали за формулою:

$$f = (n - 1)N, \quad (3.11)$$

де  $n$  - число повторюваностей експерименту (паралельні дослідів).

Якщо умова значимості (3.13) не виконувалась, то такий коефіцієнт  $b_i$  рівняння регресії приймали рівним нулю, а відповідний член  $x_i$  з рівняння регресії виключали.

Перевірку адекватності вибраної математичної моделі експериментальним даним, тобто відповідність математичної моделі реальному процесу, здійснювали за  $F$  - критерієм Фішера наступним чином [96]:

- визначали дисперсію адекватності:

$$S_{ag}^2 = \frac{n}{N - g'} \sum_{u=1}^N (\bar{y}_u - \tilde{y}_u)^2, \quad (3.12)$$

де  $N - g'$  - число степенів вільності дисперсії адекватності;  $g'$  - число значимих коефіцієнтів в рівнянні регресії;  $\bar{y}_u$  - середнє значення відгуку в  $u$ -

му досліді;  $\tilde{y}_u$  - значення відгуку в  $u$ -й точці плану, обчислене за рівнянням регресії;

- визначали розрахунковий критерій Фішера  $F_p$  :

$$F_p = \frac{S_{ag}^2}{S_y^2}, \quad (3.13)$$

де  $S_y^2$  - дисперсія відтворення дослідів;

- визначали табличне значення критерію Фішера  $F_T$  за заданим рівнем значимості  $\alpha$  і двома степенями відповідності  $f_{ag} = N - g$  та  $f_y = N(n - 1)$  [96].

Умову адекватності вибраної математичної моделі перевіряли згідно нерівності:

$$F_p < F_T. \quad (3.14)$$

Отримане значення  $F_p$  порівнювали з табличним  $F_T$ . Якщо умова  $F_p < F_T(0,05, f_{ag}, f_y)$ , виконувалась, тобто розрахункове значення  $F_p$  - критерію Фішера було менше табличного  $F_T$  при 5% - му рівні значимості, для числа ступеня вільності дисперсії адекватності  $f_{ag} = N - g$  та числа ступеня вільності дисперсії відтворюваності, то рівняння регресії ПФЕ приймали адекватним експериментальним даним.

Залежність параметру оптимізації, тобто залежність крутного моменту від зміни одного вхідного фактору для постійного значення іншого фактору, будували за допомогою пакету прикладної програми для ПК “Mat Cad 6.0”. Апроксимацію отриманої експериментальної ламаної лінії, побудованої за результатами проведених досліджень, проводили за відомими стандартними методиками, при цьому величину відхилення (“неув’язки”) визначали способом найменших квадратів, яка описується залежністю:

$$\Theta = \sum_{i=1}^N \varepsilon^2 = \sum_{i=1}^N (m_{i_e} - m_{i_m})^2, \quad (3.15)$$

де  $\Theta = \varepsilon^2$  - величина “ неув’язки”;  $m_{i_e}$ ,  $m_{i_m}$  - відповідно теоретичне (визначене за емпіричною формулою) та експериментальне значення  $i$ -го досліду.

#### **3.4 Методика дослідження процесу проточування зовнішньої крайки вигнутого профілю гвинтової заготовки**

Методика проведення дослідження процесу проточування зовнішнього крайки ГЗВП щільним пакетом, загальний вигляд якого представлено на рисунку 3.9, проводиться наступним чином. В шпинделі токарного верстату 16К20 встановлюють оправу, в різцетримач встановлюють різець, після чого здійснюють процес проточування зі збором необхідних даних з допомогою перетворювача частоти Altivar та програмного забезпечення PowerSuite v.2.5.0. Після завершення процесу проточування зовнішньої крайки вигнутого профілю ГЗ у вікні програми PowerSuite на дисплеї комп’ютера отримували дані про зміну крутного моменту, потужності двигуна в часі.



Рисунок 3.9. – Загальний вигляд процесу проточування зовнішньої крайки вигнутого профілю ГЗ

Технологічний процес проточування зовнішньої крайки вигнутого профілю ГЗ проводився для початкової ГЗ із зовнішнім діаметром 90 мм, товщиною витка спіралі 2 мм (матеріал сталь 08кп).

Замір зміни кута нахилу полички після процесу проточування проводився за допомогою електронного кутоміра моделі DJ-SP02 (рис. 3.10).



Рисунок 3.10. – Загальний вигляд електронного кутоміра (модель: DJ-SP02)

В процесі формоутворення полички формувальним роликem при початковому куті першої спіралі 45 кожний наступний кут витка гвинтової заготовки зменшується на  $0,35^{\circ}$ - $0,45^{\circ}$ . За таких умов останній виток гвинтової заготовки (для 10 витків) становив  $44^{\circ}$ - $43^{\circ}$ . Виходячи з цього, при зменшенні кута нахилу полички на зовнішньому контурі сформованої заготовки утворюється конусність (рис. 3.11). Тому після калібрування шнекової заготовки на крок діаметр по всій довжині робочого органу

є нерівномірний.

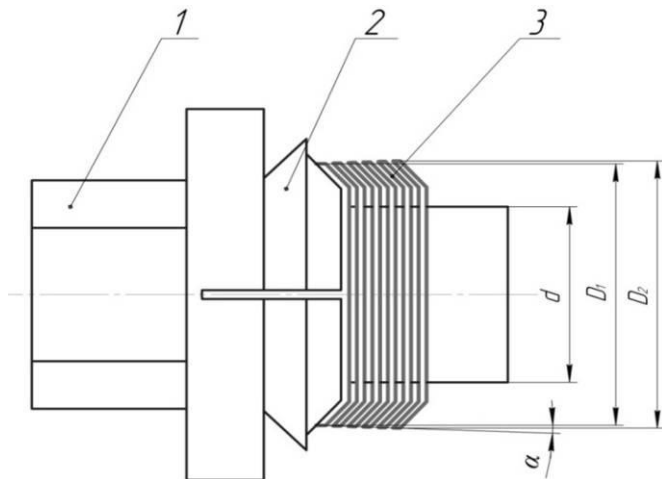


Рисунок 3.11. – ГЗ після формоутворення полички з утворенням конусності по зовнішньому контурі:

1 – оправа; 2 – втулка; 3 - спіраль

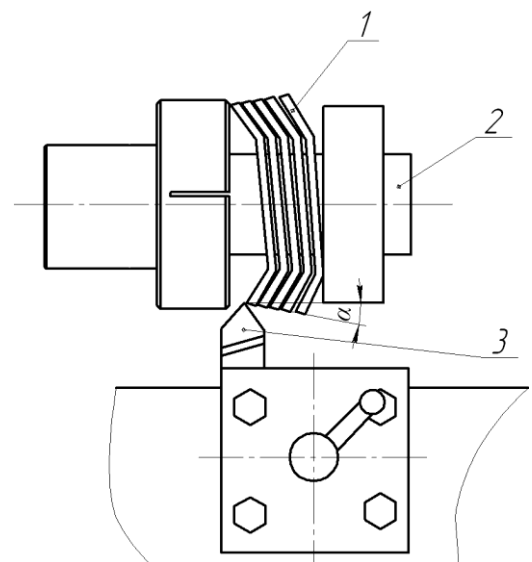


Рисунок 3.12. – Конструктивна схема проточування полички для вирівнювання діаметра по зовнішньому контурі:

1 – спіраль; 2 – оправа; 3 - різець

Для усунення даного недоліку проводиться процес проточування по зовнішньому діаметрі (рис 3.12). Специфіка процесу проточування зовнішньої крайки вигнутого профілю характеризується динамікою процесу, який залежить від конструктивних параметрів кута нахилу полицки  $\alpha$ , товщини витка спіралі  $s$  та ширини полицки  $B_n$ . Експериментальні дослідження проводились з метою визначення максимальних значень сил різання, які виникають в процесі проточування.

### 3.5 Стендове обладнання для проведення експериментальних досліджень

Для пуску двигуна головного руху верстата і регулювання частоти його обертання використовували перетворювач частоти Altivar та програмне забезпечення PowerSuite v.2.5.0 (рис. 3.13). Після завершення процесу формоутворення ГЗ у вікні програми PowerSuite на дисплеї комп'ютера отримували дані про зміну крутного моменту, потужності двигуна в часі (рис. 3.14).

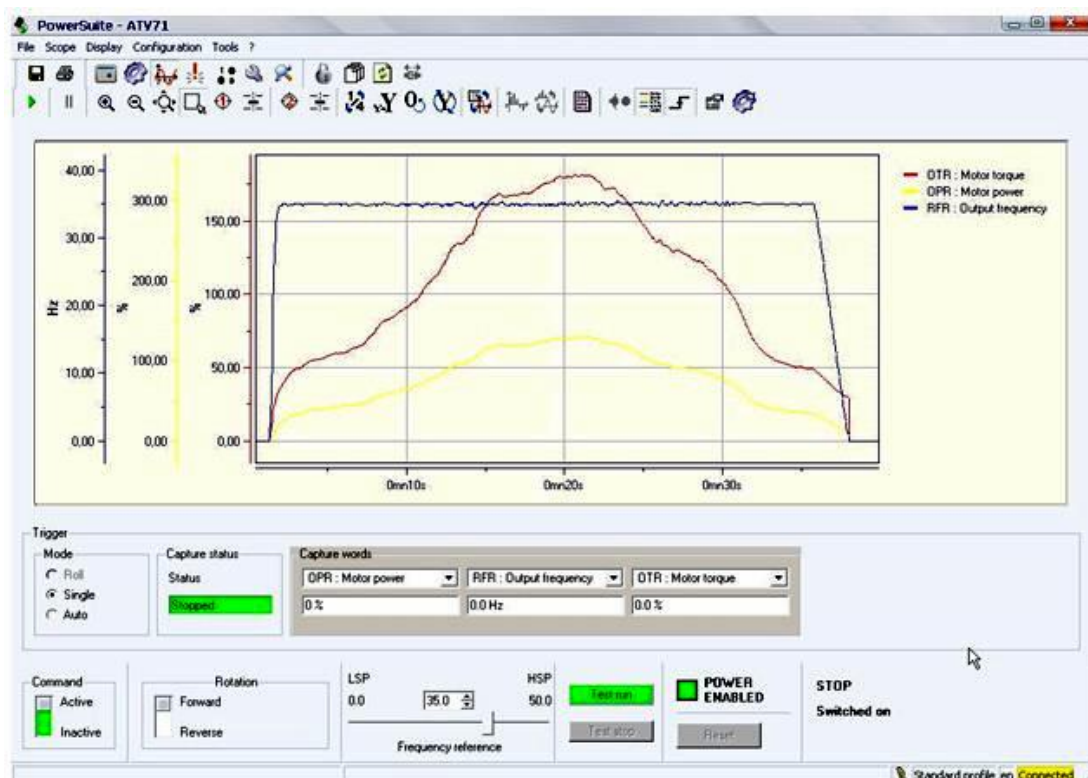
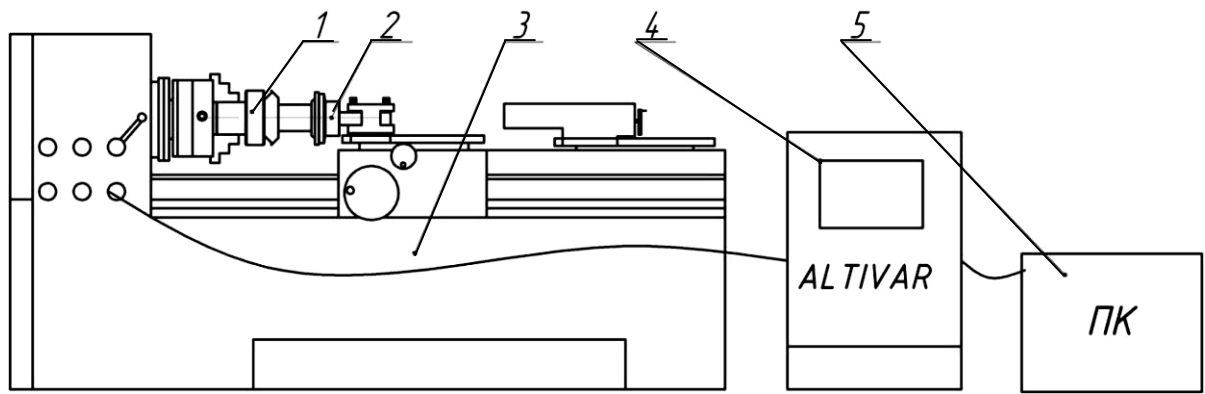


Рисунок 3.14. - Вікно програми з отриманими результатами



а)



б)

Рисунок 3.13. – Стендове обладнання а) конструктивна схема; б) загальний вигляд

Експериментальна установка складається: 1 – верстат; 2 – ГЗ; 3 – формувальний інструмент; 4 – ALTIVAR; 5 - ПК При отриманні результатів процесу формоутворення у вікні програми PowerSuite на дисплеї комп'ютера будуються графічні (при потребі табличні) залежності крутного моменту  $M$  та потужності двигуна  $N$  від частоти обертання головно приводу верстату при різних значеннях товщини витка спіралі, діаметра заготовки та кута нахилу полицки. Для подальшої побудови графічних залежностей використовувались пікові (максимальні) значення отриманих, в результаті

досліджень, даних. Величина крутного моменту і потужності двигуна фіксувались у відсотках від номінальних.

### 3.5 Висновки

1. Розроблено прогресивні технологічні процеси формоутворення ГЗВП з граничним значенням відношення ширини заготовки до її довжини в межах 17...20 одиниць. Для їх реалізації спроектовано і виготовлено комплект технічного устаткування для формоутворення вигнутого профілю на ГЗ різними способами.

2. Розроблено методики проведення процесу формоутворення вигнутого профілю на ГЗ з кутом нахилу формувального інструменту від  $15^\circ$  до  $35^\circ$  при використанні шнекової оправи внутрішнім діаметром від 50 до 60 мм, зовнішнім діаметром від 90 до 118 мм, та формувального ролика з використанням повнофакторного експерименту, яка передбачала визначення зусилля гнуття від товщини витка спіралі, діаметра заготовка та кута нахилу формувальної втулки.

3. Приведена методика дослідження процесу проточування зовнішньої крайки вигнутого профілю ГЗ в залежності від конструктивних параметрів: кута нахилу полицки  $\alpha$ , товщини витка спіралі  $s$  та ширини полицки  $B_n$ , яка передбачає визначення зміни кута нахилу полицки після процесу проточування електрокутоміром DJ-SP02.

4. Розроблено методику використання стендового устаткування для проведення експериментальних досліджень процесу формоутворення вигнутого профілю на ГЗ та процесу проточування її зовнішньої крайки в автоматизованому режимі за допомогою перетворювача частоти ALTIVAR та програмного забезпечення PowerSuite v.2.5.0, з отриманням на дисплеї комп'ютера даних про зміну крутного моменту та потужності двигуна в часі.



**РОЗДІЛ 4**  
**РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ**  
**ПРОЦЕСУ ФОРМОУТВОРЕННЯ ВИГНУТОГО ПРОФІЛЮ**  
**НА ГВИНТОВІЙ ЗАГОТОВЦІ**

**4.1 Результати експериментальних досліджень процесу формоутворення вигнутого профілю на стрічковій гвинтовій заготовці**

Для перевірки розробленої математичної моделі, яка характеризує залежність зміни крутного моменту процесу формоутворення вигнутого профілю на ГЗ від зміни діаметру  $D$  ГЗВП, товщини витка спіралі  $s$  та кута нахилу формувальної втулки  $\alpha$ , провели повнофакторний експеримент типу ПФЕ  $3^3$ , методику реалізації якого наведено в підрозділі 3.3. Для проведення експериментальних досліджень використовувався відповідне обладнання і спеціальне технологічне устаткування (рис. 3.5), характеристики якого приведено в підрозділі 3.2. Крутний момент заміряли за допомогою пристроїв і способів, описаних в розділі 3.5. Для кожного з незмінних факторів експеримент проводився не менше 3 разів, після чого визначалося середнє значення, яке використовувалось для подальшого статистичного оброблення результатів експерименту. Характеристики факторів та значення їх рівнів, для визначення зусилля процесу формоутворення вигнутого профілю на ГЗ, наведено в табл. 4.1.

Таблиця 4.1

Результати кодування факторів та рівні їх варіювання при дослідженні крутного моменту формоутворення вигнутого профілю

Фактори	Позначення		Інтерв. варіюв	Рівні варіювання, натур./ кодовані		
	Код.	Натур.				
Діаметр навивної заготовки $D$ , мм	$X_1$	$x_1$	14	90/-1	104/0	118/+1
Кут нахилу полички формувальної втулки $\alpha$ , град	$X_2$	$x_2$	10	15/-1	25/0	35/+1
Товщина витка спіралі $s$ , мм	$X_3$	$x_3$	0,5	1/-1	1,5/0	2/+1



Побудову таблиці здійснювали наступним чином. Вхідними змінними факторами ПФЕ  $3^3$  приймали: діаметр гвинтової заготовки  $D$ , який кодували індексом  $x_1$ ; кут нахилу полички формувальної втулки  $\alpha$ , яку кодували індексом  $x_2$ ; товщина витка спіралі  $s$ , яку кодували індексом  $x_3$ .

Після оброблення експериментальних даних отримано рівняння регресії в кодовій формі, які характеризують залежність зміни крутного моменту формоутворення вигнутого профілю від діаметру оправи, кута нахилу формувальної втулки і товщини витка спіралі  $M_{(0.8кп)} = f(x_1; x_2)$ ,  $M_{(сталь20)} = f(x_1; x_2)$ ,  $M_{(сталь30)} = f(x_1; x_2)$  для ГЗ виготовлених з різних матеріалів (сталь 08 кп, сталь 20, сталь 30):

$$M_{(08кп)} = 45,59 + 22,85x_1 + 17,74x_2 + 4,59x_3 + 6,95x_1x_2 - 0,98x_1x_3 + 2,79x_2x_3 + 2,43x_1^2 + 0,94x_2^2 - 2,88x_3^2, \quad (4.1)$$

$$M_{(сталь20)} = 50,04 + 25,14x_1 + 19,51x_2 + 5,05x_3 + 7,65x_1x_2 - 1,08x_1x_3 + 3,07x_2x_3 + 2,71x_1^2 + 1,07x_2^2 - 3,13x_3^2, \quad (4.2)$$

$$M_{(сталь30)} = 54,55 + 27,42x_1 + 21,28x_2 + 5,51x_3 + 8,34x_1x_2 - 1,18x_1x_3 + 3,35x_2x_3 + 2,97x_1^2 + 1,18x_2^2 - 3,40x_3^2, \quad (4.3)$$

де  $x_1$  – діаметр ГЗ, мм;  $x_2$  – товщина витка спіралі, мм;  $x_3$  – кут нахилу формувальної втулки, град.

Оцінку статистичної значущості коефіцієнтів рівняння регресії та перевірку адекватності (відповідності) отриманого теоретичного розподілу випадкових величин рівняння регресії (4.1) реальному експериментальному процесу проводили згідно методики з підрозділу 3.6 за формулами (3.7-3.14).

Згідно проведених розрахунків для усіх значень коефіцієнтів рівнянь (4.1-4.3) виконується умова значущості.

Для натуральних значень факторів рівняння регресії (4.1-4.3) приймуть вигляд:

- для матеріалу заготовки (сталь 08кп):

$$M_{(08кп)} = 93,31 - 2,26D - 93s + 1,79\alpha + 0,99Ds - 7 \cdot 10^{-3} D\alpha + 0,55s\alpha + 0,012D^2 + 3,76s^2 - 0,029\alpha^2, \quad (4.4)$$

- для матеріалу заготовки (сталь 20):

$$M_{(сталь20)} = 105,2 - 2,53D - 102,82s + 1,95\alpha + 1,09Ds - 7,71 \cdot 10^{-3} D\alpha + 0,61s\alpha + 0,014D^2 + 4,28s^2 - 0,031\alpha^2, \quad (4.5)$$

- для матеріалу заготовки (сталь 30):

$$M_{(сталь30)} = 115,58 - 2,77D - 112,26s + 2,12\alpha + 1,19Ds - 8,43 \cdot 10^{-3} D\alpha + 0,67s\alpha + 0,015D^2 + 4,72s^2 - 0,034\alpha^2. \quad (4.6)$$

Отримані регресійні залежності можна використовувати для визначення крутного моменту формоутворення вигнутого профілю на ГЗ в межах параметрів:  $90 \text{ мм} \leq D \leq 118 \text{ мм}$ ;  $15^{\circ} \leq \alpha \leq 35^{\circ}$ ;  $1 \text{ мм} \leq s \leq 2 \text{ мм}$ .

Перевірка за критерієм Фішера регресійних залежностей дозволяє стверджувати, що припущення про адекватність моделі при п'ятивідсотковому рівні значущості не відкидається. За результатами розрахунків, які проводили за допомогою пакету прикладних статистичних програм оброблення та аналізу результатів експериментальних досліджень для ПК, будували залежності поверхонь відгуку параметру оптимізації й двомірний переріз поверхонь відгуку для наочного зображення результатів проведених експериментів. Для побудови та аналізу залежностей зміни крутного моменту формоутворення вигнутої поверхні від діаметру і товщини витка спіралі ГЗ та кута нахилу формувальної втулки, використовували пакет статистичної програми для ПК MathCad Professional 2001. Аналіз випадковості процесу оцінювали за стандартними методиками [2, 33].

## **4.2 Графоаналітичні результати експериментальних досліджень зусилля процесу формоутворення вигнутого профілю**

Дослідження із визначення крутного моменту процесу формоутворення вигнутого профілю проводились для заготовок із матеріалів: сталь 08 кп ( $\sigma_{TO} = 175$  МПа,  $\Pi = 483$  МПа); сталь 20 ( $\sigma_{TO} = 245$  МПа,  $\Pi = 544$  МПа); сталі 30 ( $\sigma_{TO} = 294$  МПа,  $\Pi = 583$  МПа), що дозволило визначити аналітичні регресійні рівняння.

Для підтвердження результатів теоретичних досліджень було проведено комплекс експериментів з визначення зусилля формоутворення вигнутого профілю із внутрішніми радіусами  $r = 45-65$  мм висотою полицки до 15 мм і товщиною  $s = 1-2$  мм, що дозволило з більшою точністю встановити закономірності та особливості процесів формоутворення вигнутого профілю.

При реалізації складених план-матриць для усунення впливу на отримані результати величини зусилля формоутворення неконтрольованих факторів провели рандомізацію план-матриці (табл. 4.2) методом випадкового балансу, який було реалізовано способом витягання порядкових номерів дослідів з урни.

Таблиця 4.2

Умовна план-матриця експерименту типу ПФЕ  $3^3$  при дослідженні крутного моменту при гнутті полицки на гвинтовій заготовці

№ досл.	Рівні факторів				Взаємодія факторів				Параметр оптимізації, У			Середн і значення, У
	$x_0$	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_1 x_2$	$x_1 x_3$	$x_2 x_3$	$x_1 x_2 x_3$	1	2	3	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	+1	-1	-1	-1	+1	+1	+1	-1	$Y_{11}$	$Y_{12}$	$Y_{13}$	$Y_{1c}$
2	+1	+1	-1	-1	-1	-1	+1	+1	$Y_{21}$	$Y_{22}$	$Y_{23}$	$Y_{2c}$
3	+1	0	-1	-1	0	0	+1	0	$Y_{31}$	$Y_{32}$	$Y_{33}$	$Y_{3c}$
4	+1	-1	+1	-1	-1	+1	-1	+1	$Y_{41}$	$Y_{42}$	$Y_{43}$	$Y_{4c}$
5	+1	+1	+1	-1	+1	-1	-1	-1	$Y_{51}$	$Y_{52}$	$Y_{53}$	$Y_{5c}$

Продовження таблиці 4.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	----	----	----

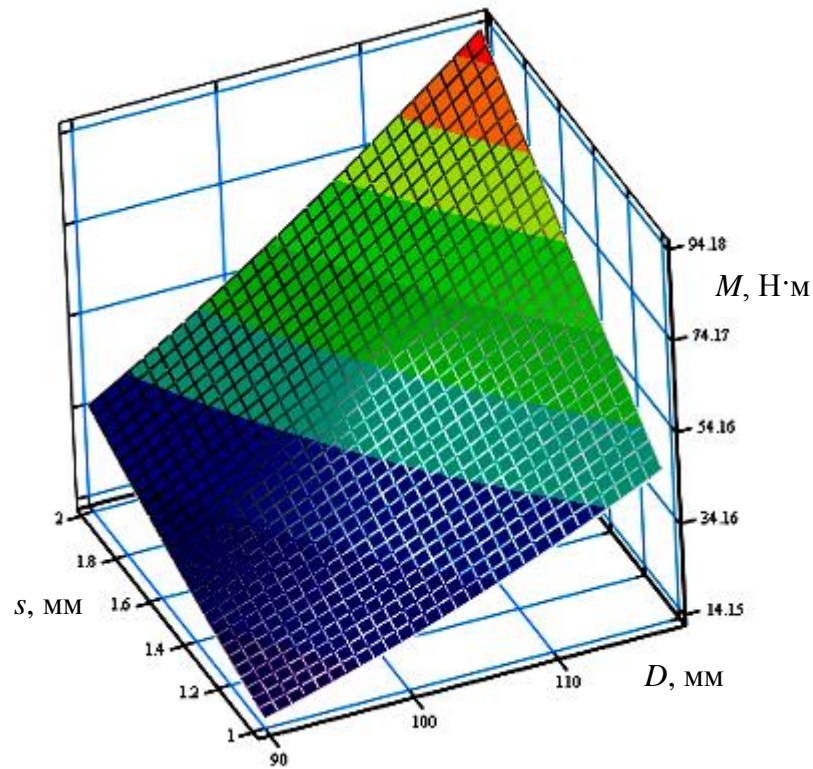
6	+1	0	+1	-1	0	0	-1	0	$Y_{61}$	$Y_{62}$	$Y_{63}$	$Y_{6c}$
7	+1	-1	0	-1	0	+1	0	0	$Y_{71}$	$Y_{72}$	$Y_{73}$	$Y_{7c}$
8	+1	+1	0	-1	0	-1	0	0	$Y_{81}$	$Y_{82}$	$Y_{83}$	$Y_{8c}$
9	+1	0	0	-1	0	0	0	0	$Y_{91}$	$Y_{92}$	$Y_{93}$	$Y_{9c}$
10	+1	-1	-1	+1	+1	-1	-1	+1	$Y_{101}$	$Y_{102}$	$Y_{103}$	$Y_{10c}$
11	+1	+1	-1	+1	-1	+1	-1	-1	$Y_{111}$	$Y_{112}$	$Y_{113}$	$Y_{11c}$
12	+1	0	-1	+1	0	0	-1	0	$Y_{121}$	$Y_{122}$	$Y_{123}$	$Y_{12c}$
13	+1	-1	+1	+1	-1	-1	+1	-1	$Y_{131}$	$Y_{132}$	$Y_{133}$	$Y_{13c}$
14	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	$Y_{141}$	$Y_{142}$	$Y_{143}$	$Y_{14c}$
15	+1	0	+1	+1	0	0	+1	0	$Y_{151}$	$Y_{152}$	$Y_{153}$	$Y_{15c}$
16	+1	-1	0	+1	0	-1	0	0	$Y_{161}$	$Y_{162}$	$Y_{163}$	$Y_{16c}$
17	+1	+1	0	+1	0	+1	0	0	$Y_{171}$	$Y_{172}$	$Y_{173}$	$Y_{17c}$
18	+1	0	0	+1	0	0	0	0	$Y_{181}$	$Y_{182}$	$Y_{183}$	$Y_{18c}$
19	+1	-1	-1	0	+1	0	0	0	$Y_{191}$	$Y_{192}$	$Y_{193}$	$Y_{19c}$
20	+1	+1	-1	0	-1	0	0	0	$Y_{201}$	$Y_{202}$	$Y_{203}$	$Y_{20c}$
21	+1	0	-1	0	0	0	0	0	$Y_{211}$	$Y_{212}$	$Y_{213}$	$Y_{21c}$
22	+1	-1	+1	0	-1	0	0	0	$Y_{221}$	$Y_{222}$	$Y_{123}$	$Y_{22c}$
23	+1	+1	+1	0	+1	0	0	0	$Y_{231}$	$Y_{232}$	$Y_{233}$	$Y_{23c}$
24	+1	0	+1	0	0	0	0	0	$Y_{241}$	$Y_{242}$	$Y_{243}$	$Y_{24c}$
25	+1	-1	0	0	0	0	0	0	$Y_{251}$	$Y_{252}$	$Y_{253}$	$Y_{25c}$
26	+1	+1	0	0	0	0	0	0	$Y_{261}$	$Y_{262}$	$Y_{263}$	$Y_{26c}$
27	+1	0	0	0	0	0	0	0	$Y_{271}$	$Y_{272}$	$Y_{273}$	$Y_{27c}$

Функцію відгуку (параметр оптимізації) крутного моменту формоутворення вигнутої поверхні  $M^i = f(D, \alpha, s)$ , що визначені експериментальним шляхом, представлено у вигляді математичної моделі повного квадратичного полінома [33]:

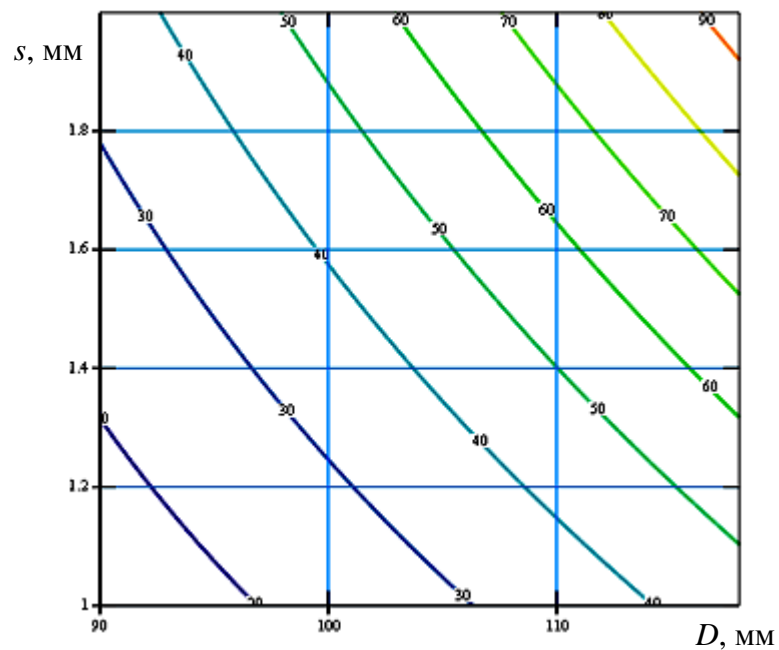
$$M^i = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{23}x_2x_3 + b_{11}x_1^2 + b_{22}x_2^2 + b_{33}x_3^2, \quad (4.7)$$

де  $b_0, b_1, b_2, b_3, b_{12}, b_{13}, b_{23}, b_{11}, b_{22}, b_{33}$  - коефіцієнти відповідних значень  $x_i$ .

Згідно отриманих рівнянь регресії побудовано поверхні відгуку та двомірні їх перерізи продуктивності від зміни двох факторів для  $x_3 = const$ . Графічні значення результатів залежності крутного моменту одержаних з використанням Mathcad 2001 Professional наведено на рис. 4.1 – 4.9.



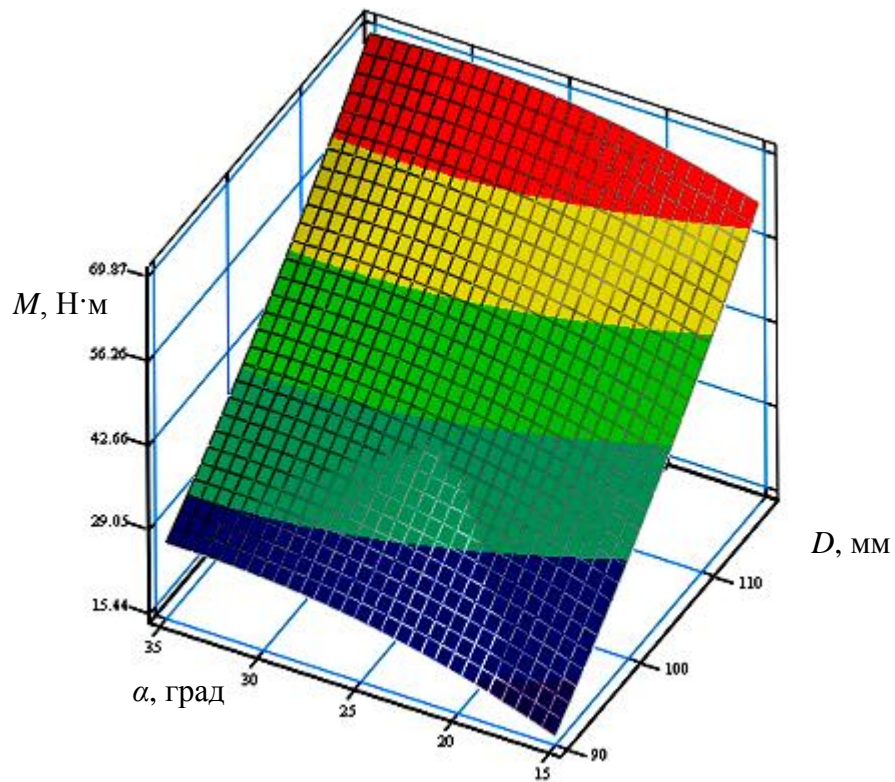
а)



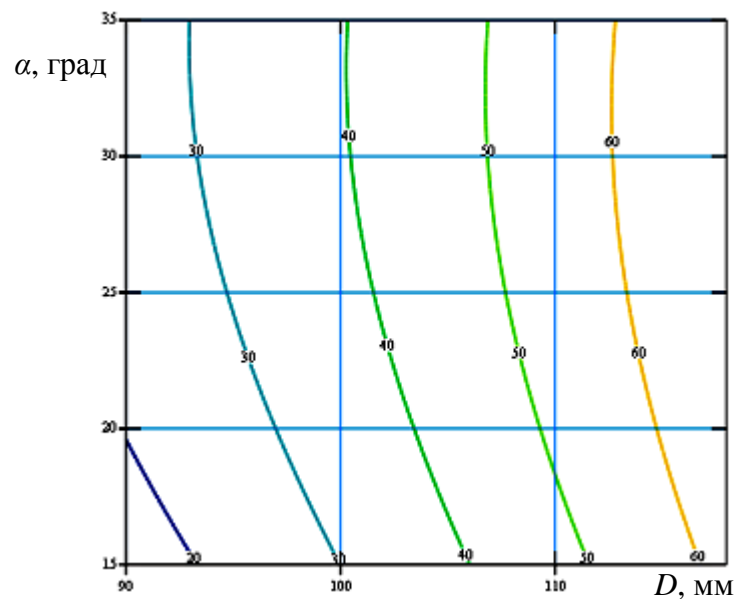
б)

Рисунок 4.1. - Поверхня відгуку (а) та двовірний переріз поверхні відгуку (б) залежності крутного моменту  $M_{(D,s)}$  під час формоутворення полицки на гвинтовій заготовці ( $\alpha = 25^\circ$ ) із сталі 08кп

З аналізу графічних залежностей рис. 4.1 зміни крутного моменту від товщини витка спіралі  $s$  (від 1 до 2 мм) та діаметру гвинтової заготовки  $D$  (від 90 - 118 мм) видно, що він змінюється від 14 - 94 Н·м для сталі 08кп при  $\alpha = 25^\circ$ .



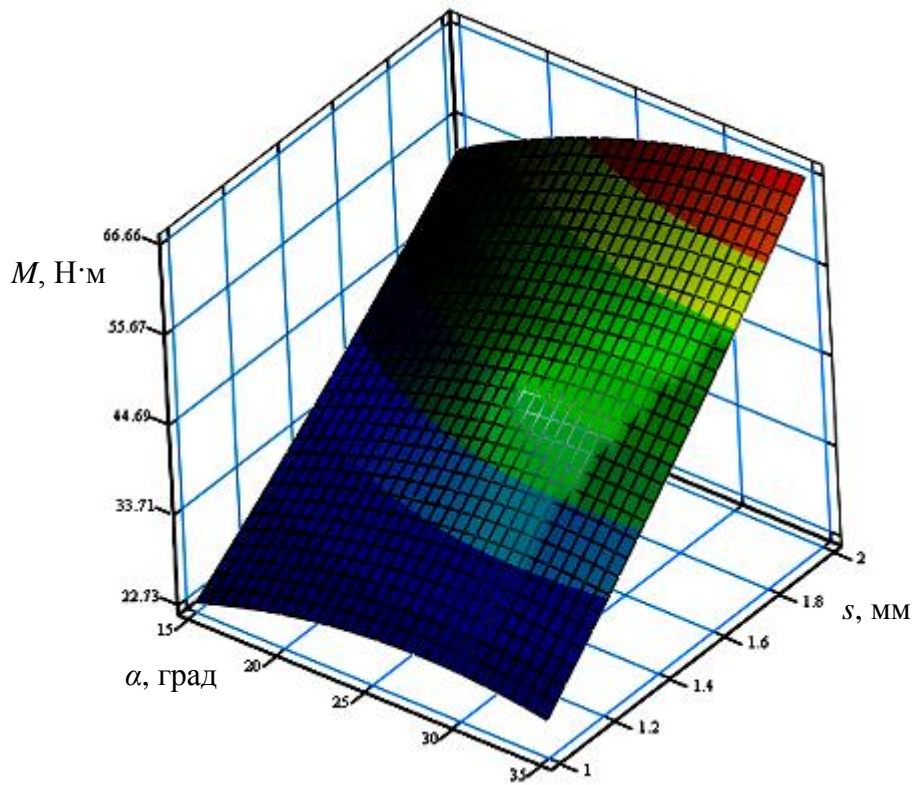
а)



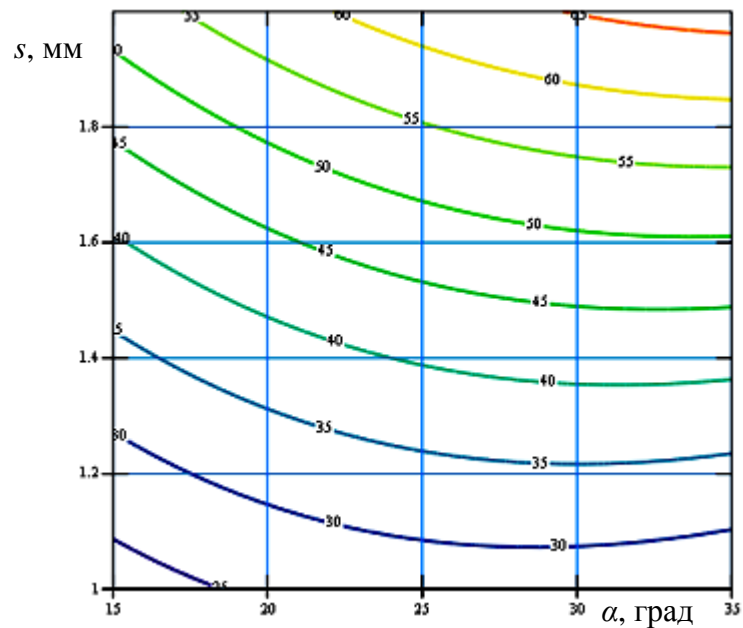
б)

Рисунок 4.2. - Поверхня відгуку (а) та двовірний переріз поверхні відгуку (б) залежності крутного моменту  $M_{(D,\alpha)}$  під час формоутворення полички на гвинтовій заготовці ( $s = 1,5 \text{ мм}$ ) із сталі 08кп

З аналізу графічних залежностей рис. 4.2 зміни крутного моменту від кута нахилу полички  $\alpha$  (від  $15^\circ$  до  $35^\circ$  мм) та діаметру гвинтової заготовки  $D$  (від 90 до 118 мм) видно, що він змінюється від 16 до 69  $\text{N}\cdot\text{m}$  для сталі 08кп при  $s = 1,5 \text{ мм}$ .



а)

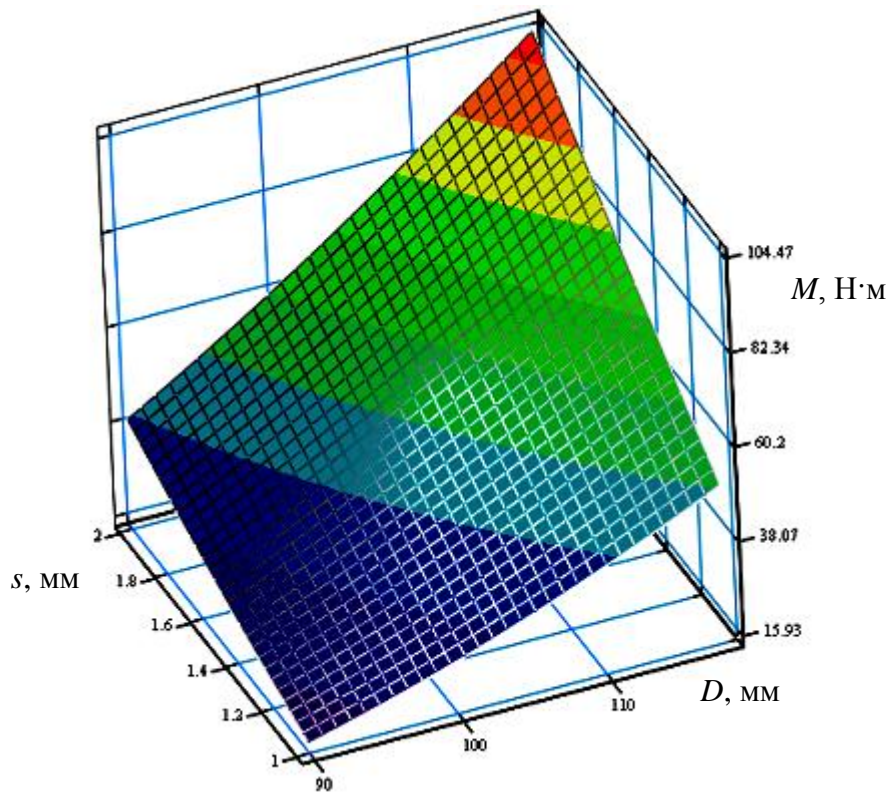


б)

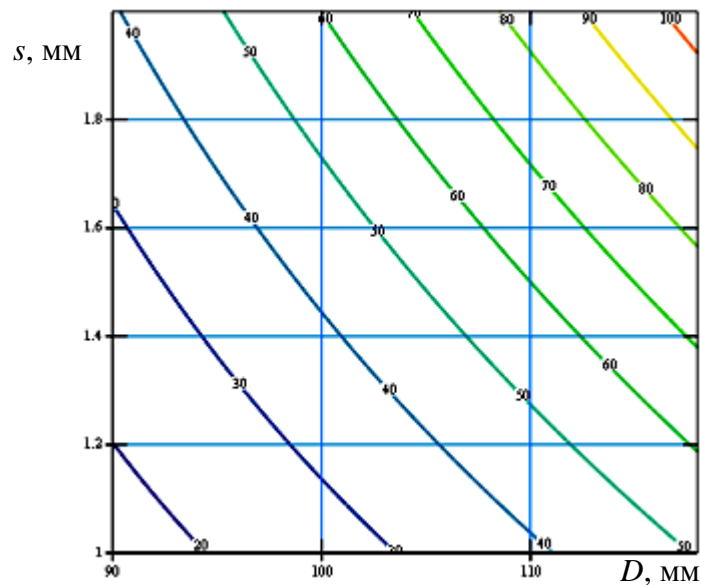
Рисунок 4.3. - Поверхня відгуку (а) та двомірний переріз поверхні відгуку (б) залежності крутного моменту  $M_{(s,\alpha)}$  під час формоутворення полицки на гвинтовій заготовці ( $D = 104$  мм) із сталі 08кп

З аналізу графічних залежностей рис. 4.3 зміни крутного моменту від товщини витка спіралі  $s$  (від 1 до 2 мм) та кута нахилу полицки  $\alpha$  (від  $15^\circ$  до  $35^\circ$  мм) видно, що він змінюється від 22 до 66  $\text{N}\cdot\text{m}$  для сталі 08кп при  $D = 104$  мм.





а)

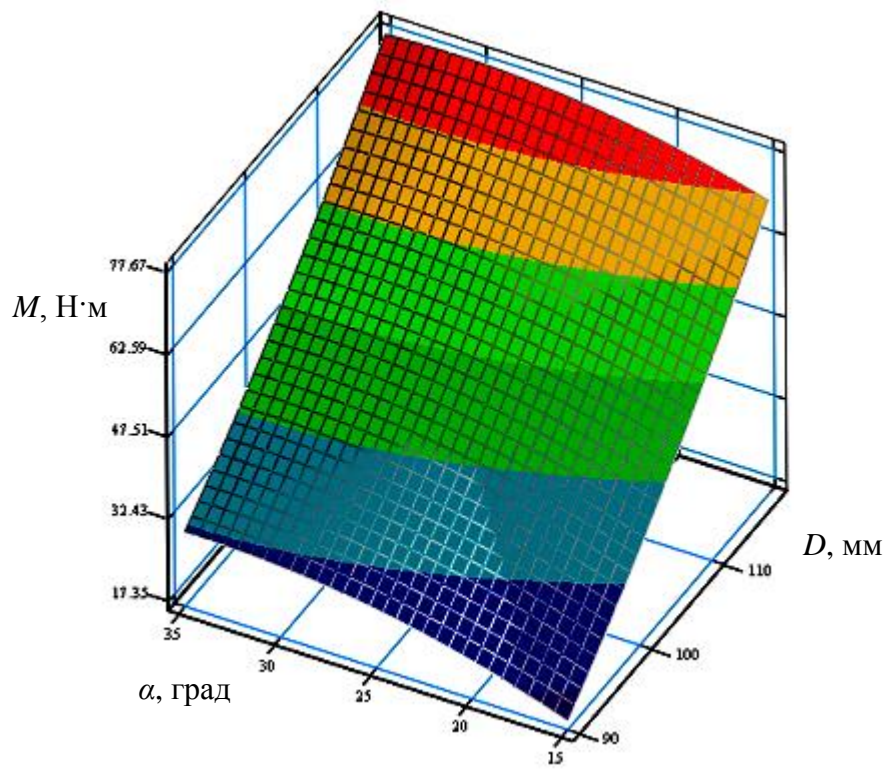


б)

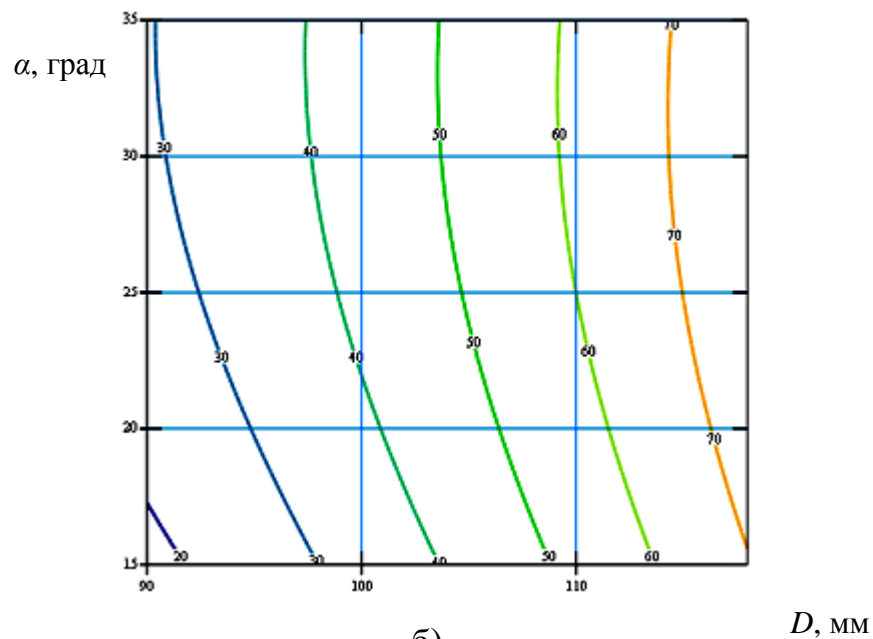
Рисунок 4.4. - Поверхня відгуку (а) та двомірний переріз поверхні відгуку (б) залежності крутного моменту  $M_{(D,s)}$  під час формоутворення полицки на гвинтовій заготовці ( $\alpha = 25^\circ$ ) із сталі 20

З аналізу графічних залежностей рис. 4.4 зміни крутного моменту від товщини витка спіралі  $s$  (від 1 до 2 мм) та діаметру гвинтової заготовки  $D$  (від 90 - 118 мм) видно, що він змінюється від 15 до 104 Н·м для сталі 20 при  $\alpha = 25^\circ$ .





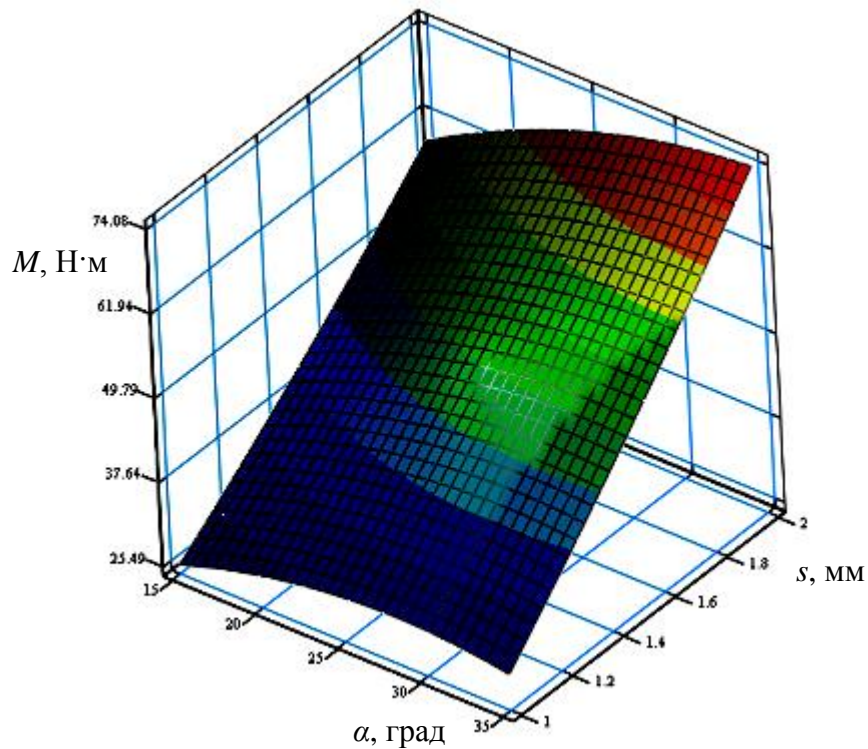
а)



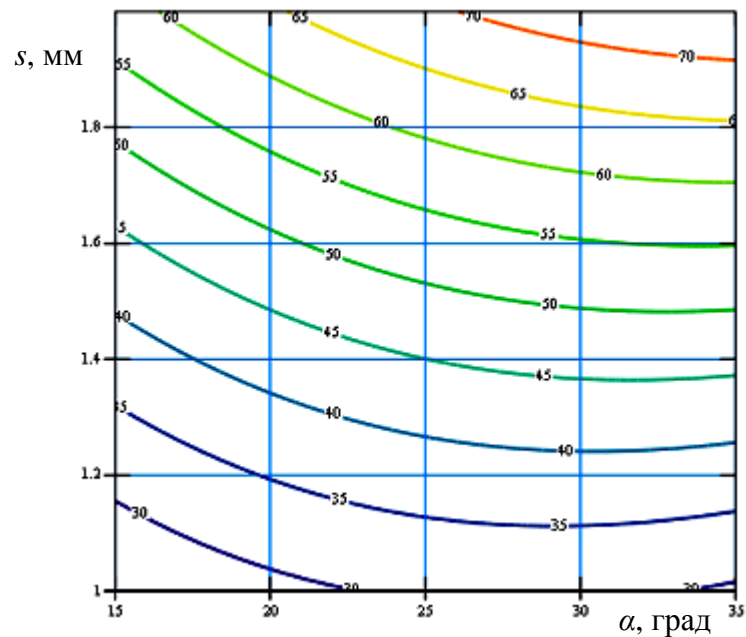
б)

Рисунок 4.5. - Поверхня відгуку (а) та двомірний переріз поверхні відгуку (б) залежності крутного моменту  $M_{(D,\alpha)}$  під час формоутворення полицки на гвинтовій заготовці ( $s = 1,5$  мм) із сталі 20

З аналізу графічних залежностей рис. 4.5 зміни крутного моменту від кута нахилу полицки  $\alpha$  (від  $15^\circ$  до  $35^\circ$  мм) та діаметру гвинтової заготовки  $D$  (від 90 до 118 мм) видно, що він змінюється від 17 до 77  $\text{H}\cdot\text{m}$  для сталі 20 при  $s = 1,5$  мм.



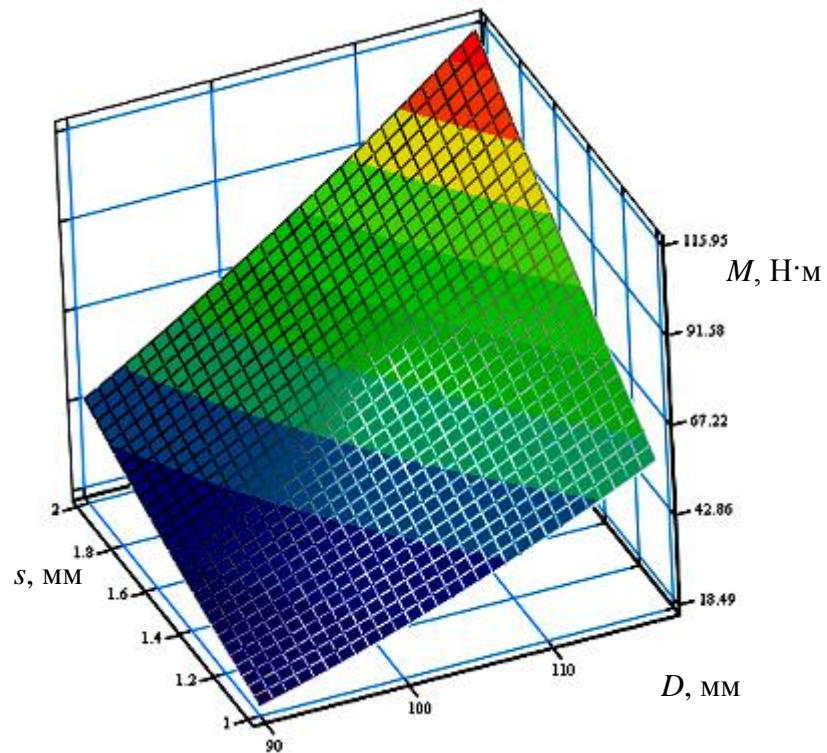
а)



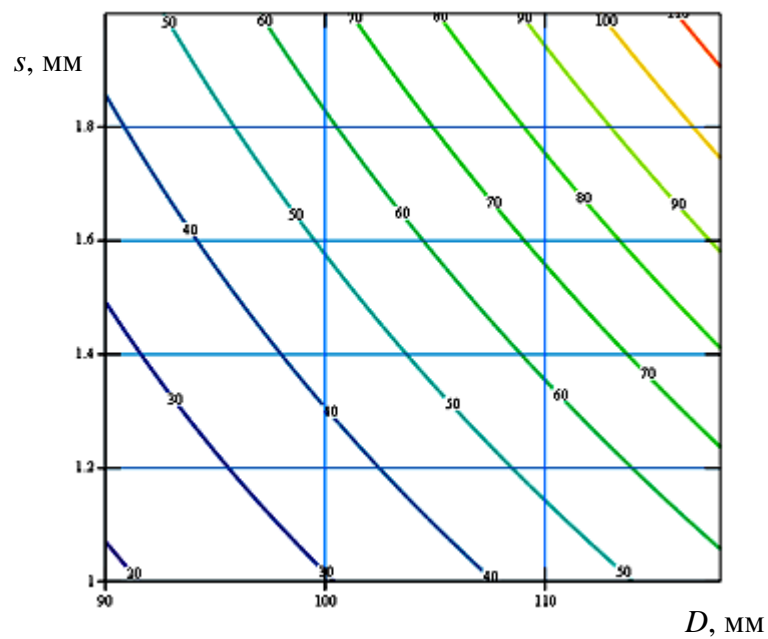
б)

Рисунок 4.6. - Поверхня відгуку (а) та двомірний переріз поверхні відгуку (б) залежності крутного моменту  $M_{(s,\alpha)}$  під час формоутворення полицки на гвинтовій заготовці ( $D = 104$  мм) із сталі 20

З аналізу графічних залежностей рис. 4.6 зміни крутного моменту від товщини витка спіралі  $s$  (від 1 до 2 мм) та кута нахилу полицки  $\alpha$  (від  $15^\circ$  до  $35^\circ$ ) видно, що він змінюється від 25 до 74  $\text{N}\cdot\text{m}$  для сталі 20 при  $D = 104$  мм.



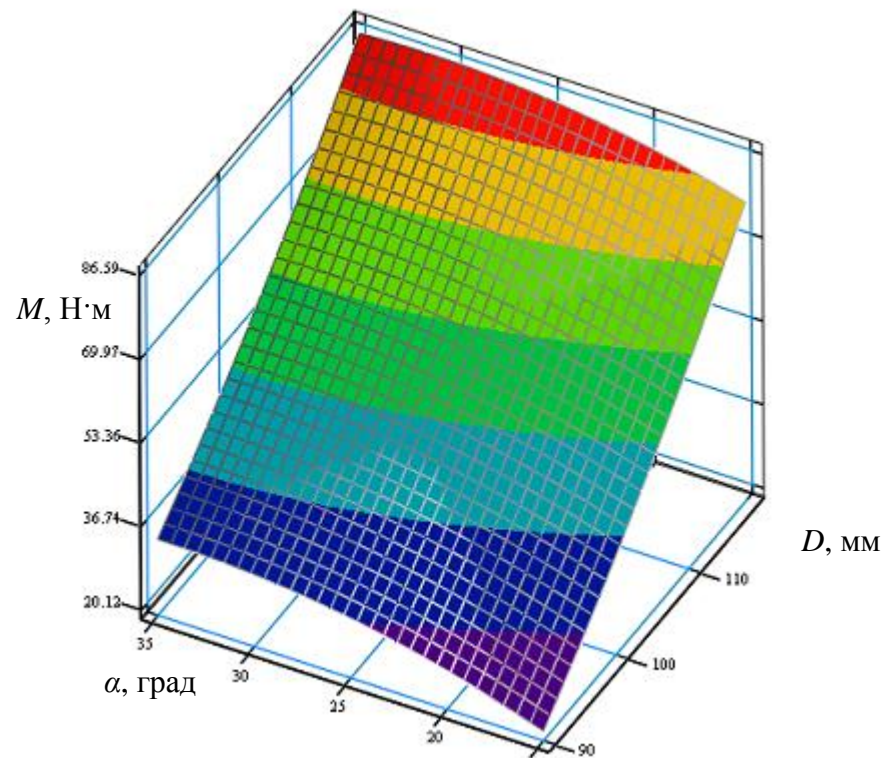
а)



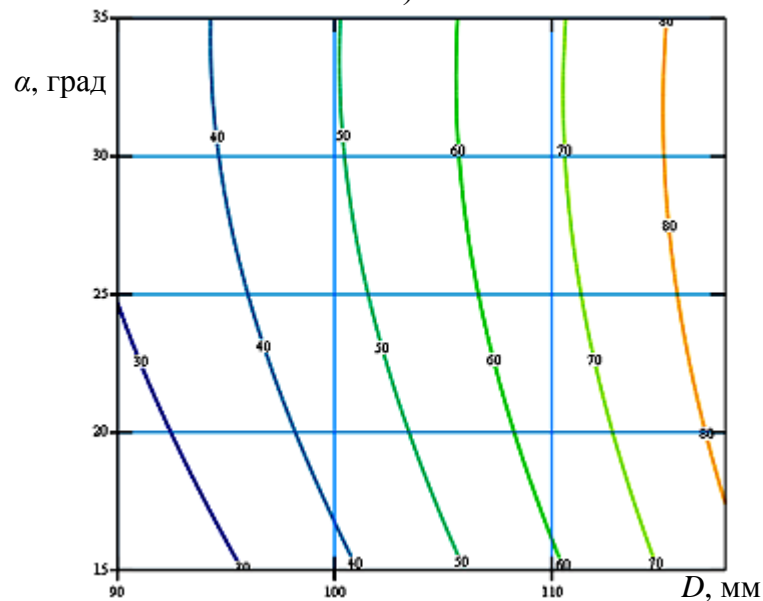
б)

Рисунок 4.7. - Поверхня відгуку (а) та двомірний переріз поверхні відгуку (б) залежності крутного моменту  $M_{(D,s)}$  під час формоутворення полочки на гвинтовій заготовці ( $\alpha = 25^\circ$ ) із сталі 30

З аналізу графічних залежностей рис. 4.7 зміни крутного моменту від товщини витка спіралі  $s$  (від 1 до 2 мм) та діаметру гвинтової заготовки  $D$  (від 90 до 118 мм) видно, що він змінюється від 18 до 115 Н·м для сталі 30 при  $\alpha = 25^\circ$ .



а)



б)

Рисунок 4.8. - Поверхня відгуку (а) та двовірний переріз поверхні відгуку (б) залежності крутного моменту  $M_{(D,\alpha)}$  під час формоутворення полицки на гвинтовій заготовці ( $s=1,5\text{мм}$ ) із сталі 30

З аналізу графічних залежностей рис. 4.8 зміни крутного моменту від кута нахилу полицки  $\alpha$  (від  $15^\circ$  до  $35^\circ$  мм) та діаметру гвинтової заготовки  $D$  (від 90 до 118 мм) видно, що він змінюється від 20 до 85 Н·м для сталі 30 при  $s = 1,5$  мм.



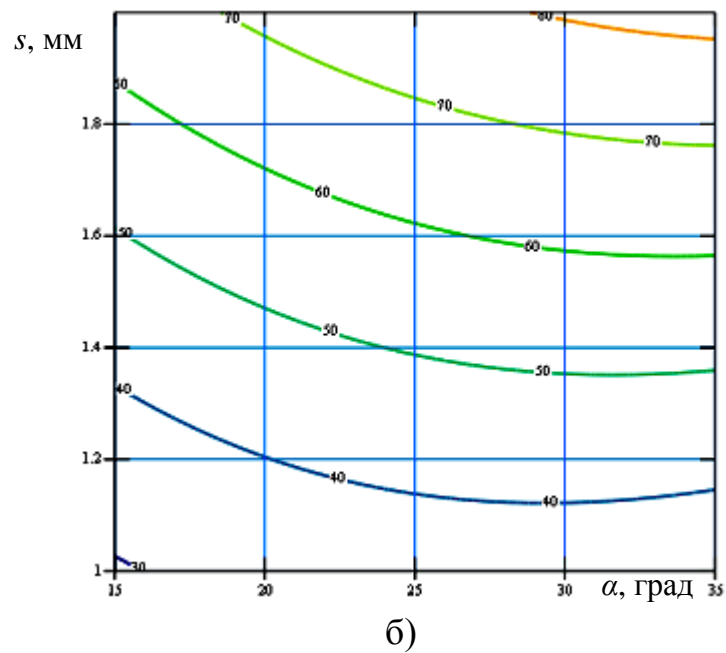
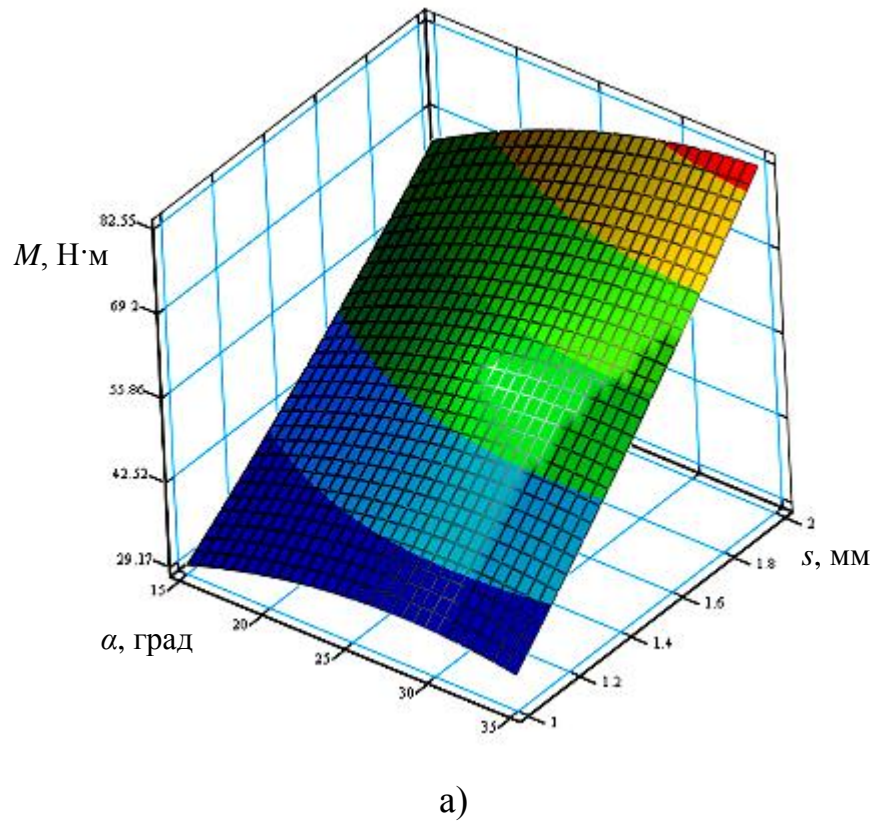


Рисунок 4.9. - Поверхня відгуку (а) та двовірний переріз поверхні відгуку (б) залежності крутного моменту  $M_{(s,\alpha)}$  під час формоутворення полицки на гвинтовій заготовці ( $D = 104$  мм) із сталі 30

З аналізу графічних залежностей рис. 4.9 зміни крутного моменту від товщини витка спіралі  $s$  (від 1 до 2 мм) та кута нахилу полицки  $\alpha$  (від  $15^\circ$  до  $35^\circ$  мм) видно, що він змінюється від 29 до 82  $\text{N}\cdot\text{m}$  для сталі 30 при  $D = 104$

мм.

Для наглядності отриманих результатів повнофакторного експерименту побудовано графічні залежності (рис. 4.10 і рис. 4.13) зміни крутного моменту від кута нахилу полицки  $\alpha$ , товщини витка спіралі  $s$  та діаметру початкової заготовки  $D$ .

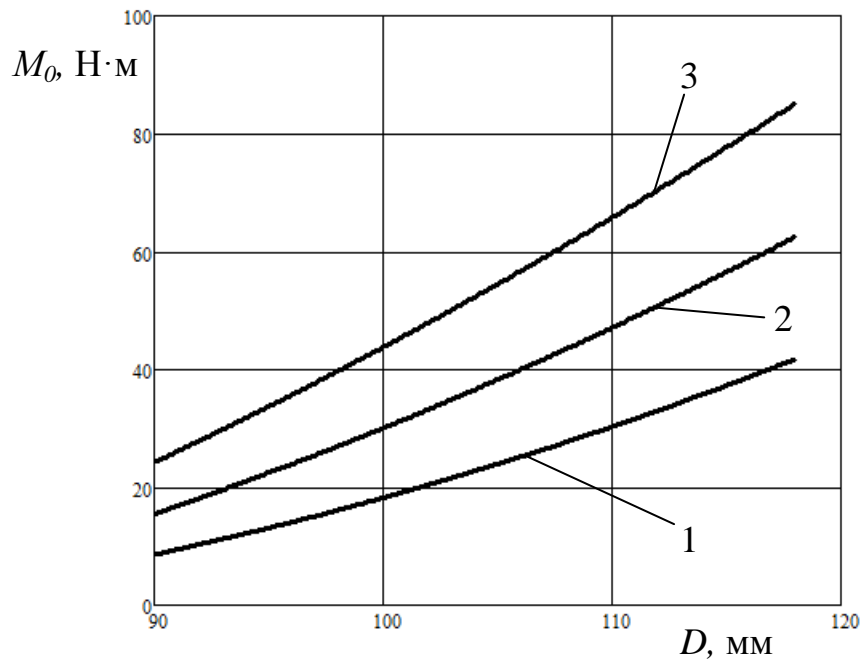


Рисунок 4.10. – Графічні залежності зміни крутного моменту від діаметру  $D$  для сталі 08кп: 1)  $s = 1$  мм; 2)  $s = 1,5$  мм; 3)  $s = 2$  мм

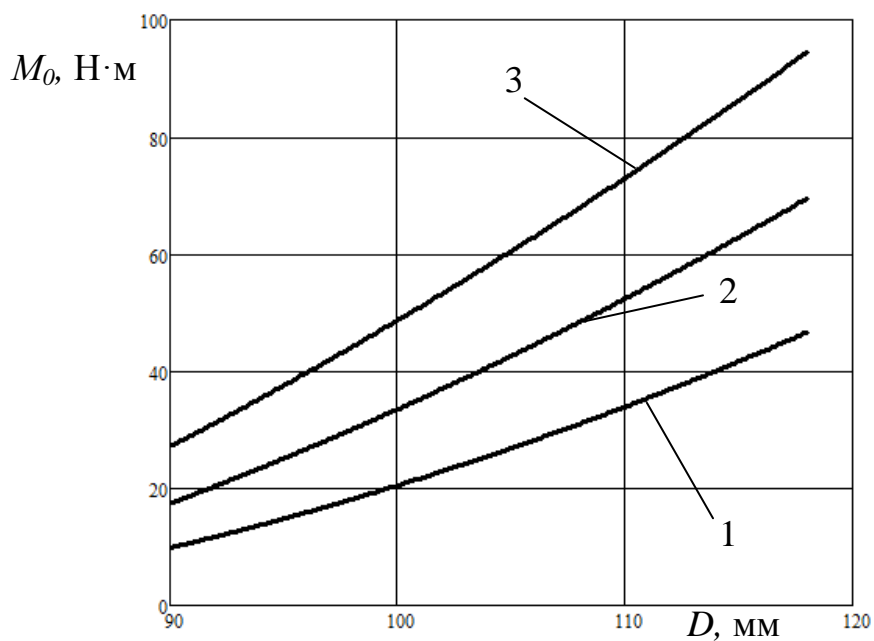


Рисунок 4.11. – Графічні залежності зміни крутного моменту від діаметру  $D$  для сталі 20: 1)  $s = 1$  мм; 2)  $s = 1,5$  мм; 3)  $s = 2$  мм

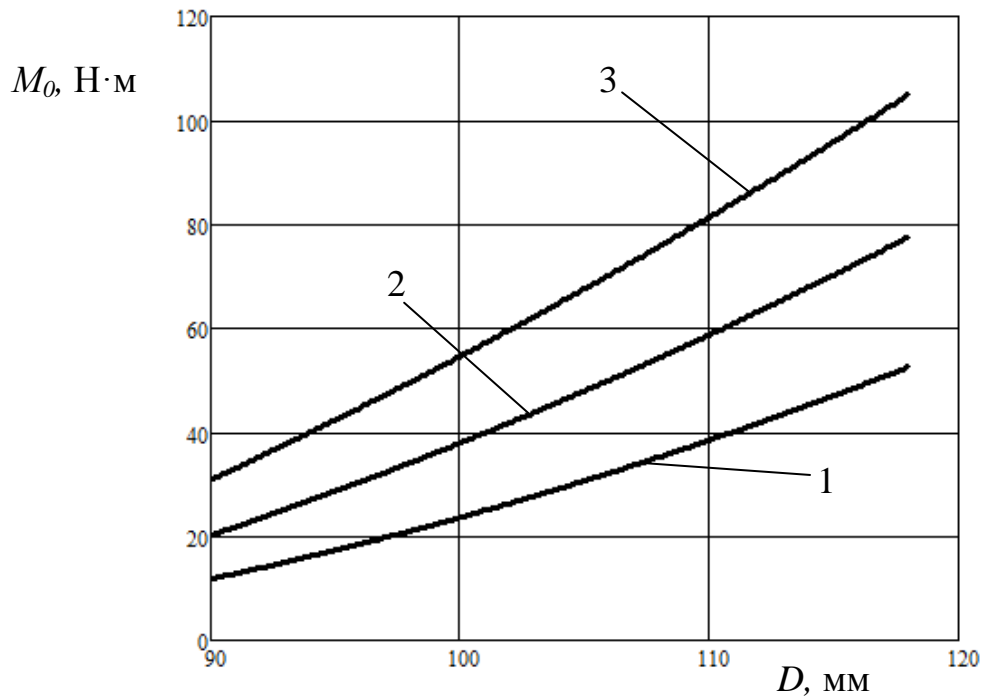


Рисунок 4.12. – Графічні залежності зміни крутного моменту від діаметру  $D$  для сталі 30: 1)  $s = 1$  мм; 2)  $s = 1,5$  мм; 3)  $s = 2$  мм

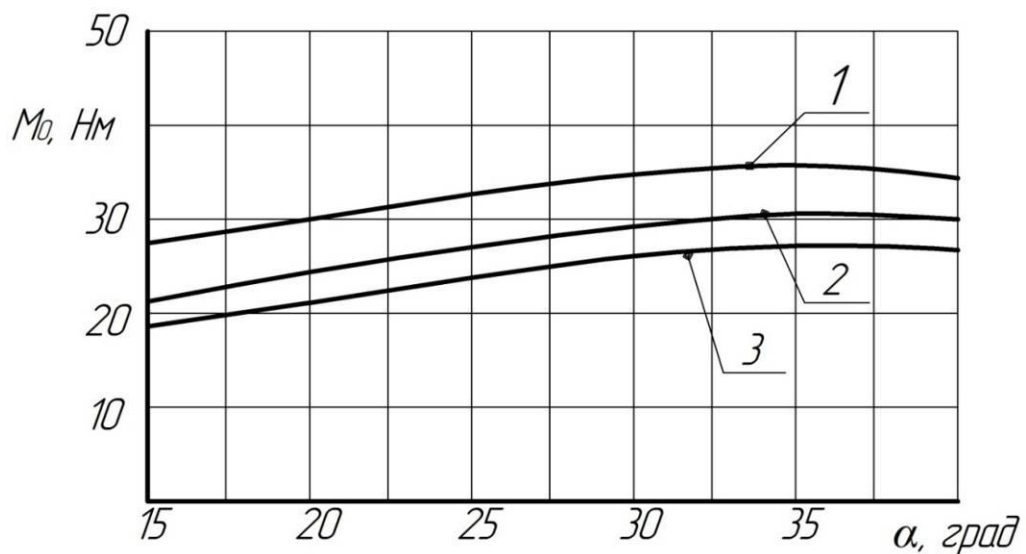


Рисунок 4.13. – Графічні залежності зміни крутного моменту від кута нахилу полицки  $\alpha$  при товщині витка спіралі 1 мм для: 1) сталь 30; 2) сталь 20; 3) сталь 08кп

З аналізу графічних залежностей рис 4.11 - 4.13. можна зробити висновок, що при збільшенні діаметру в залежності від товщини витка спіралі  $s = 1-2$  мм та матеріалу заготовки крутий момент змінюється від 14 до 94 Н·м для сталі 08кп, від 15 - 104 Н·м для сталі 20, від 18 - 115 Н·м для сталі 30 при  $\alpha = (15^\circ)$ .

### 4.3 Результати експериментальних досліджень процесу проточування гвинтової поверхні після формоутворення вигнутого профілю

Технологічний процес виготовлення ГЗВП високої точності містить операцію проточування по зовнішньому діаметру, яка дозволяє покращити якість поверхні зовнішнього ребра та підвищити експлуатаційні характеристики навитих деталей.

Дослідження процесу проточування здійснювали для навитих заготовок із такими параметрами: матеріали – сталь 08 кп, сталь 20 і сталь 30, діапазон зовнішніх діаметрів – 90 – 130 мм; товщина витка спіралі – 1-3 мм та кут нахилу полицки  $15^{\circ}$  –  $35^{\circ}$ . Експерименти проводили на токарному верстаті. Для визначення крутного моменту формоутворення вигнутого профілю на ГЗ для різних схем у всіх випадках визначали за допомогою ALTIVAR та програми PowerSuite v 2.5.0 [41], вікно якої наведено на рисунку 4.13.



Рисунок 4.13. – Вікно програми PowerSuite v 2.5.0

Експериментальні дослідження свідчать, що швидкість різання повинна мати певні значення, інакше внутрішня гвинтова поверхня може



деформуватись. Діапазон значень швидкості різання визначали дослідним шляхом. Так, для досягнення необхідної якості поверхні і точності швидкість різання повинна знаходитись в межах 280 - 300 м/хв. При збільшенні товщини витка спіралі ГЗ більш, ніж на 0,5 мм, швидкість різання потрібно зменшувати до 100-200 м/хв., якість поверхні при цьому суттєво знижується. Характер залежності сили різання в часі – пульсивний з періодом  $T = 60/n$  ( $n$ - кількість обертів заготовки за хвилину). Це чітко прослідковується на осцилограмах.

Одержані графіки (рис. 4.14 – 4.16) дозволили встановити закономірності зміни параметрів проточування. Так з підвищенням швидкості різання зусилля різання зменшуються, а із зростанням подачі, глибини різання та товщини витка спіралі ГЗ – підвищуються. Значення сили різання визначали за формулою:

$$P_z = C_{pz} V^{0,15} S^{0,8} t^{0,75} K_z, \quad (4.7)$$

де  $C_{pz}$  - коефіцієнт, який залежить від ширини заготовки,  $C_{pz}=3000-3500$ ;  $V$  - швидкість різання;  $S$  - подача на один оберт;  $t$  - глибина різання;  $K_z$  - коефіцієнт, який залежить від товщини заготовки по зовнішньому ребру,  $K_z = (h/2,5) K_{напр} K_{знош}$ ;  $K_{напр}$  - коефіцієнт, який залежить від напрямку подачі різця (для розточування за напрямком гвинтової лінії,  $K_{напр} = 1,1$ ; у випадку розточування в напрямку, протилежному гвинтовій лінії  $K_{напр} = 0,9$ );  $K_{знош}$  - коефіцієнт, який враховує зношування різця,  $K_{знош}=0,85-1$ .

Тоді формула для визначення сили різання записується:

$$P_z = 4h C_{pz} V^{0,15} S^{0,8} t^{0,75}. \quad (4.8)$$

Швидкість різання визначали за формулою:

$$V = 340 / (T^{0,20} S^{0,45} t^{0,15}) K_v; \quad K_v = K_b K_\phi K_m, \quad (4.9)$$

де  $K_b$  - коефіцієнт, який враховує товщину полицки ГЗ ,  $K_b = h / 2,5$ ;  
 $K_\phi$  - коефіцієнт, який враховує форму різця;  $K_m$  - коефіцієнт, який враховує  
 матеріал заготовки, для сталі 30  $K_m = 0,9$ ; для сталі 08 кп  $K_m = 1$ .

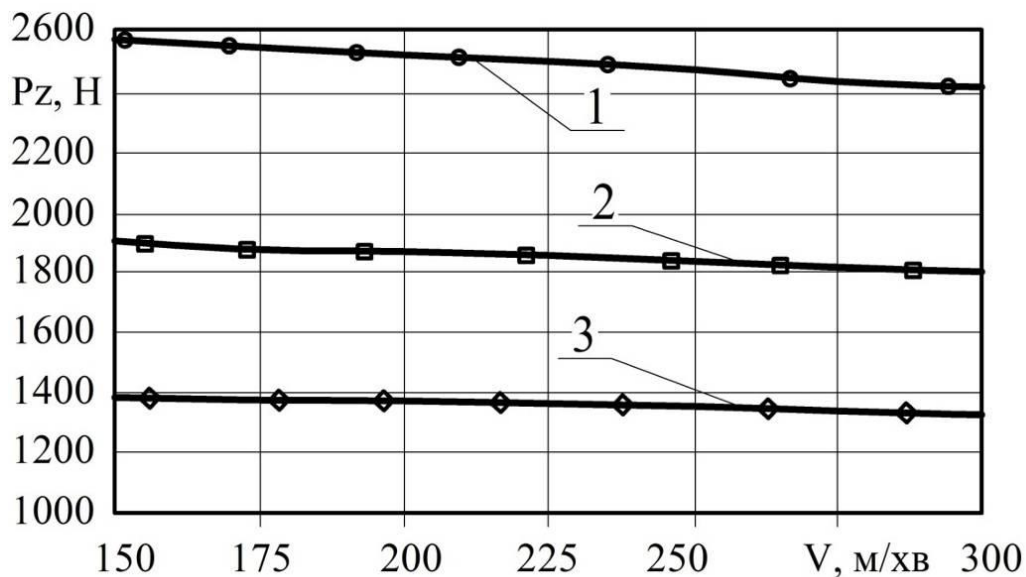


Рисунок 4.14. - Залежність зміни зусилля різання  $P_z$  від швидкості  $V$  для матеріалів заготовок: 1) сталь 30; 2) сталь 20; 3) сталь 08кп

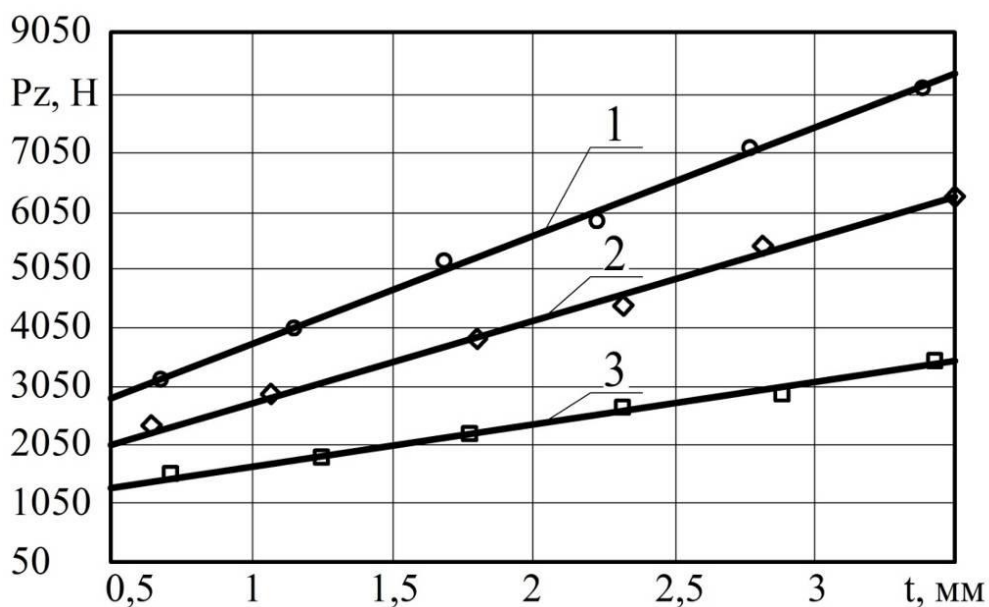


Рисунок 4.15. - Залежність зміни зусилля різання  $P_z$  від глибини різання  $t$  для матеріалів заготовок: 1) сталь 30; 2) сталь 20; 3) сталь 08кп

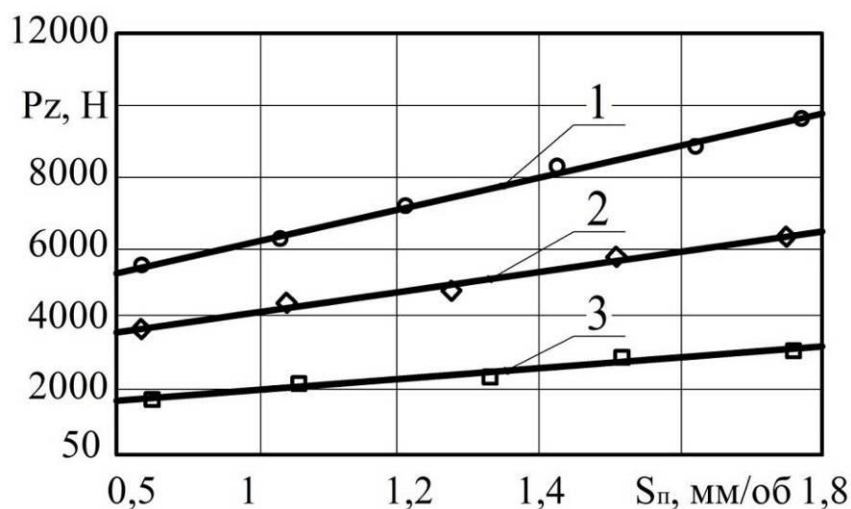


Рисунок 4.16. – Залежність зміни зусилля різання  $P_z$  від подачі  $S$  для матеріалів заготовок: 1) сталь 30; 2) сталь 20; 3) сталь 08кп

Аналіз результатів експериментальних досліджень процесу проточування профільних ГЗ за зовнішнім діаметром для сталі 30, сталі 20 та сталі 08кп свідчить, що підвищення швидкості різання зменшує силу різання (рис. 4.13), а збільшення глибини різання (рис. 4.14) і подачі (рис. 4.15) приводить до зростання зусилля різання.

За експериментально отриманими даними побудовані графічні залежності зміни кута нахилу полицки від сили різання (рис 4.17) .

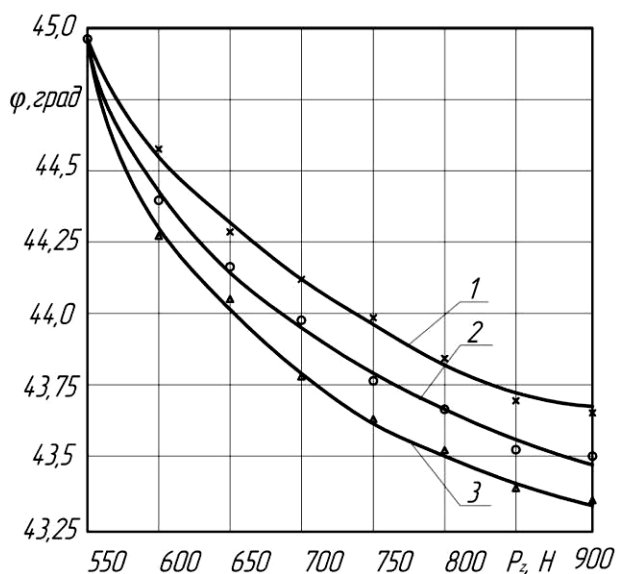


Рисунок 4.17. – Графічні залежності зміни кута нахилу полицки від сили різання в процесі проточування

З аналізу графічних залежностей можна зробити висновок, що при силі різання 500 – 550 Н кут нахилу полицки практично не змінюється, а при збільшенні сили різання до 550 – 900 Н спостерігається зміна кута нахилу полицки в межах від 1,3 градусів.

На рисунку 4.18 зображено зміну крутного моменту в часі при проточуванні зовнішньої крайки ГЗВП. Дані отримані за допомогою перетворювача частоти ALTIVAR та програмного забезпечення PowerSuite v 2.5.0

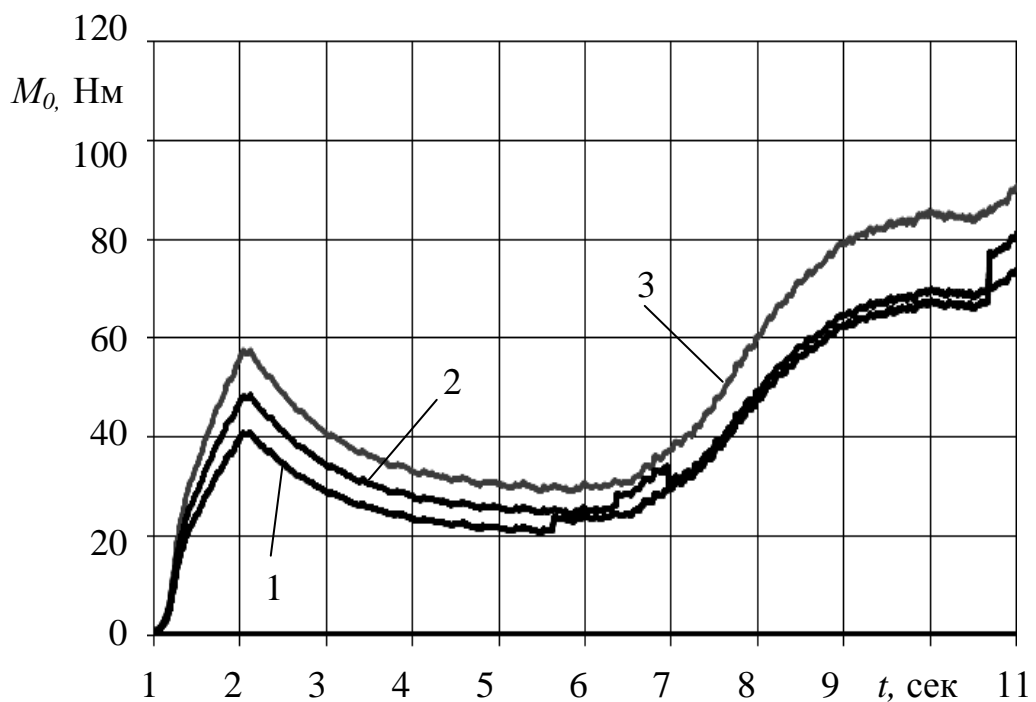


Рисунок 4.18. – Графічні залежності зміни крутного моменту при проточуванні вигнутого профілю ГЗ для сталі 08кп від часу  $t$

Аналізуючи графічні залежності на рисунку 4.18 можна зробити наступні висновки: для матеріалу заготовки сталь 08кп крутний момент змінюється від 40 до 80 Н·м, для сталі 20 від 48 до 76 Н·м, для сталі 30 від 57 до 92 Н·м. При цьому при проходженні різцем перших 4 – 5 витків спостерігається зменшення сили різання, що зумовлене геометричними параметрами даної ГЗ з вигнутим профілем.

#### 4.4 Результати порівняння теоретичних і експериментальних досліджень гнuttя полички з визначення їх силових параметрів

В результаті проведення експериментальних досліджень формоутворення вигнутого профілю на ГЗ були отримані дані для побудови графічних залежностей. Для порівняння отриманих експериментальних та теоретичних результатів досліджень побудовані графічні залежності крутного моменту (рис. 4.20 і рис. 4.21). На рис. 4.20 представлені графічні залежності зміни крутного моменту на оправі від ширини полички  $B_n$  та товщина витка спіралі  $s$  (сталь 08кп,  $\alpha = 35^\circ$ ), а на рис. 4.21 від ширини полички  $B_n$  та кута її нахилу  $\alpha$  (сталь 08кп,  $s = 2$  мм).

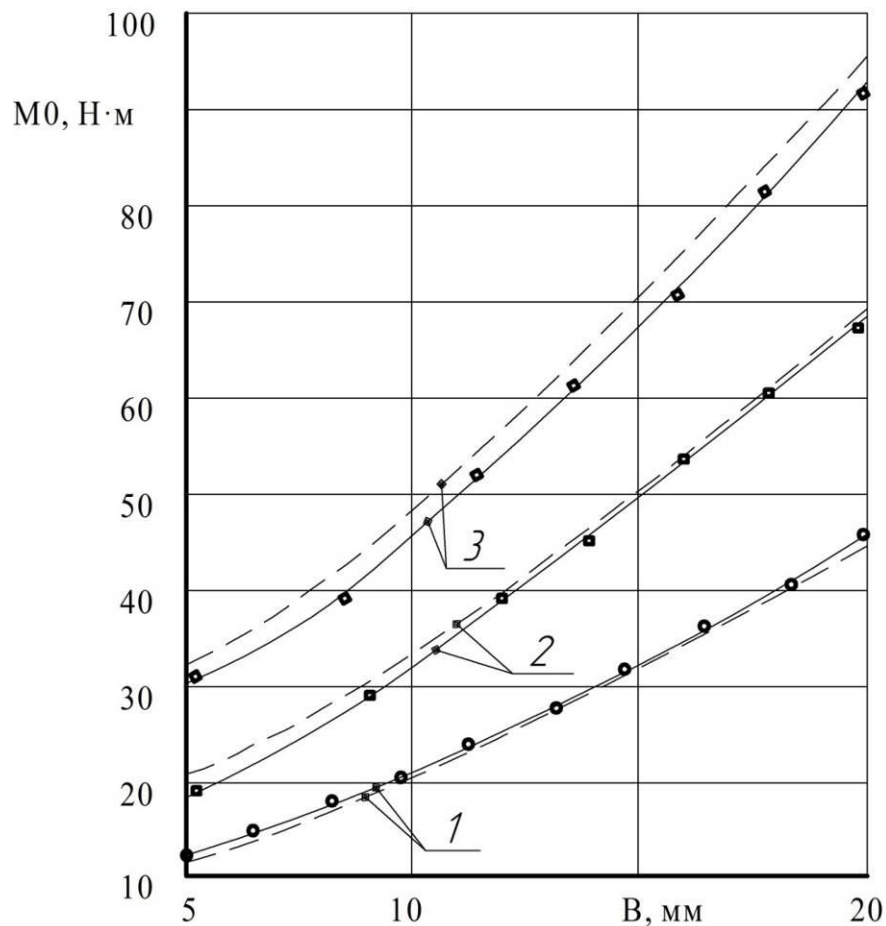


Рисунок 4.20. – Графічні залежності порівняння теоретичних — — — та експериментальних ————— результатів досліджень крутного моменту на оправі від ширини полички  $B_n$  та товщина витка спіралі  $s$  (сталь 08кп,  $\alpha = 35^\circ$ ): 1)  $s = 1$  мм; 2)  $s = 1,5$  мм; 3)  $s = 2$  мм

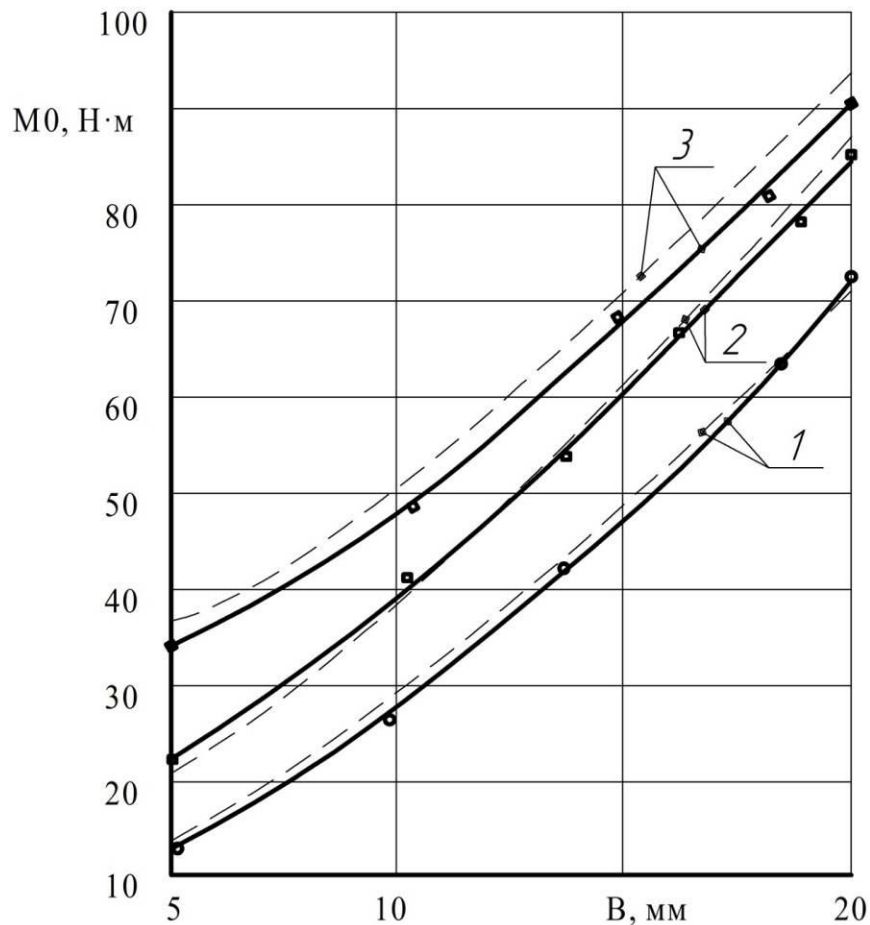


Рисунок 4.21. – Графічна залежність порівняння теоретичних — — — та експериментальних ————— результатів досліджень крутного моменту на оправці від ширини полицки  $B_n$  та кута нахилу полицки  $\alpha$  (сталь 08кп,  $S = 2$  мм): 1)  $\alpha = 10^\circ$ ; 2)  $\alpha = 17^\circ$ ; 3)  $\alpha = 35^\circ$

Отже, в результаті порівняння теоретичних та експериментальних результатів досліджень крутного моменту на оправі в процесі формоутворення вигнутого профілю на ГЗ відхилення становить в межах 7% - 13%.

За результатами проведених експериментальних досліджень формоутворення вигнутого профілю можна зробити висновок з порівняння використовуваних методик проведення процесу формоутворення при використанні шнекової оправи та формувального ролика. Було встановлено, що процес формоутворення вигнутого профілю ГЗ на шнековій оправі виявився неефективним. Так недостатня жорсткість закріплення ГЗ зумовлює

утворення гофрованих поверхонь і різних кутів нахилу полицки  $\alpha$  на всій довжині ГЗ. В порівнянні із першим методом, формоутворення вигнутого профілю ГЗ з допомогою формувального ролика забезпечує більшу жорсткість конструкції, що дає можливість забезпечувати рівномірне формоутворення вигнутого профілю на ГЗ з товщиною витка спіралі  $s$  понад 3 мм, при забезпеченні необхідної точності кута нахилу та уникнення явища гофрування.

Також необхідні більші зусилля деформації, при використанні методики проведення процесу формоутворення вигнутого профілю на ГЗ при використанні шнекової оправки, ніж при використанні методики з допомогою формувальних втулок.

Крім цього, при використанні методики проведення процесу формоутворення вигнутого профілю на ГЗ при використанні шнекової оправки потрібно використовувати значно більше технологічного устаткування, в порівнянні з формоутворенням вигнутого профілю на ГЗ формувальним роликом, що робить даний метод нетехнологічним для різноманітних типорозмірів шнеків.

Отже, за порівнянням двох методик можна зробити висновок, що методика проведення процесу формоутворення вигнутого профілю на ГЗ формувальними втулками у порівнянні з методикою проведення цього процесу при використанні шнекової оправки має ряд переваг:

- енерго менш затратна;
- забезпечує рівномірне формоутворення вигнутого профілю на ГЗ при забезпеченні необхідної точності кута нахилу полицки  $\alpha$ ;
- дозволяє уникати гофрування вигнутого профілю на ГЗ;
- може використовуватись при формоутворенні вигнутого профілю з товщиною витка спіралі  $s$  понад 3 мм;
- потребує значно меншу кількість технологічного устаткування, особливо при формоутворенні вигнутого профілю на ГЗ різноманітних типорозмірів.

#### 4.5 Висновки

1. В результаті проведення повнофакторного експерименту типу ПФЕ 33 знайшли експериментальне підтвердження теоретичні викладки, які відносяться до встановлення закономірностей зміни крутного моменту в процесі формоутворення вигнутого профілю на ГЗ зі сталі сталі 08кп, сталі 20 та сталі 30 від зміни діаметру  $D$  (в межах 90 - 118 мм) ГЗВП, товщини витка спіралі  $s$  (в межах 1 - 2 мм) та кута нахилу формувальної втулки  $\alpha$  (в межах  $10^\circ$ - $35^\circ$ ). Встановлено, що переважаючими факторами, які впливають на величину крутного моменту, є діаметр ГЗ  $D$  та товщина витка спіралі  $s$ , а кут нахилу полочки  $\alpha$  на силові параметри процесу формоутворення вигнутого профілю впливає не значно. Встановлено зміни крутного моменту від діаметр ГЗ  $D$  та товщини витка спіралі  $s$ , які знаходяться в межах від 14 до 94 Н·м для сталі 08кп, від 15 до 104 Н·м для сталі 20, та від 18 до 115 Н·м для сталі 30 при  $\alpha = 25^\circ$ . Розбіжність між результатами теоретичних і експериментальних досліджень становить 7% - 13%.

2. Отримано регресійні залежності для визначення крутного моменту формоутворення вигнутого профілю на ГЗ в межах параметрів:  $90 \text{ мм} \leq D \leq 118 \text{ мм}$ ,  $150 \leq \alpha \leq 350$ ,  $1 \text{ мм} \leq s \leq 2 \text{ мм}$  для ГЗВП виготовлених з різних матеріалів (сталь 08 кп, сталь 20, сталь 30). Для визначення регресійних залежностей використано пакет статистичної програми для ПК, за допомогою якого побудовано графічні відтворення проміжних загальних регресійних моделей у вигляді квадратичних поверхонь відгуку та їх двовимірних перерізів зміни крутного моменту формоутворення вигнутої поверхні на ГЗ як функції від двох змінних факторів за постійного незмінного рівня відповідного третього фактору.

3. Експериментальні дослідження процесу проточування зовнішньої крайки ГЗВП з різних матеріалів (сталь 08 кп, сталь 20, сталь 30) показали, що швидкість різання повинна мати певні значення, в іншому випадку внутрішня гвинтова поверхня може деформуватись. Діапазон значень швидкості різання необхідно визначати дослідним шляхом.



Експериментально визначено, що швидкість різання повинна знаходитись в межах 300 м/хв., а при збільшенні товщини гвинтової поверхні більш, ніж на 0,5 мм, швидкість доцільно зменшувати до 100-200 м/хв., але при цьому одержана якість оброблення суттєво знижується.

4. Аналіз результатів експериментальних досліджень процесу проточування профільних ГЗ за зовнішнім діаметром для сталі 08кп, сталі 20 та сталі 30 свідчить, що підвищення швидкості різання зменшує силу різання, а збільшення глибини різання і подачі приводить до зростання зусилля різання. При силі різання 500-550 Н кут нахилу полицки практично не змінюється, а при збільшенні сили різання до 550-900 Н спостерігається значна зміна кута нахилу полицки в межах від 45 до 43,7 градусів.

5. Експериментально встановлено, що методика проведення процесу формоутворення вигнутого профілю на ГЗ формувальним роликком у порівнянні з методикою проведення цього процесу при використанні шнекової оправки має ряд переваг: енерго менш затратна; забезпечує рівномірне формоутворення вигнутого профілю на ГЗ при забезпеченні необхідної точності кута нахилу  $\alpha$ ; дозволяє уникати гофрування вигнутого профілю на ГЗ; може використовуватись при формоутворенні вигнутого профілю з товщиною витка спіралі  $s$  понад 3 мм; потребує значно меншу кількість технологічного устаткування, особливо при формоутворенні вигнутого профілю на ГЗ різноманітних типорозмірів.

**РОЗДІЛ 5**  
**ПРОЕКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО УСТАТКУВАННЯ ДЛЯ**  
**ВИГОТОВЛЕННЯ ВИГНУТОГО ПРОФІЛЮ НА ГВИНТОВІЙ**  
**ЗАГОТОВЦІ ТА ВИКОРИСТАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ У**  
**ВИРОБНИЦТВІ**

**5.1 Комп'ютерне моделювання гвинтової стрічкової заготовки з вигнутим профілем та визначенням силових параметрів процесу її формоутворення**

За допомогою пакету прикладних програм створено комп'ютерну модель гвинтової стрічкової заготовки з вигнутим профілем, загальний вигляд якої з відповідними позначеннями, що використовуватимуться для подальших розрахунків, представлено на рис. 5.1.

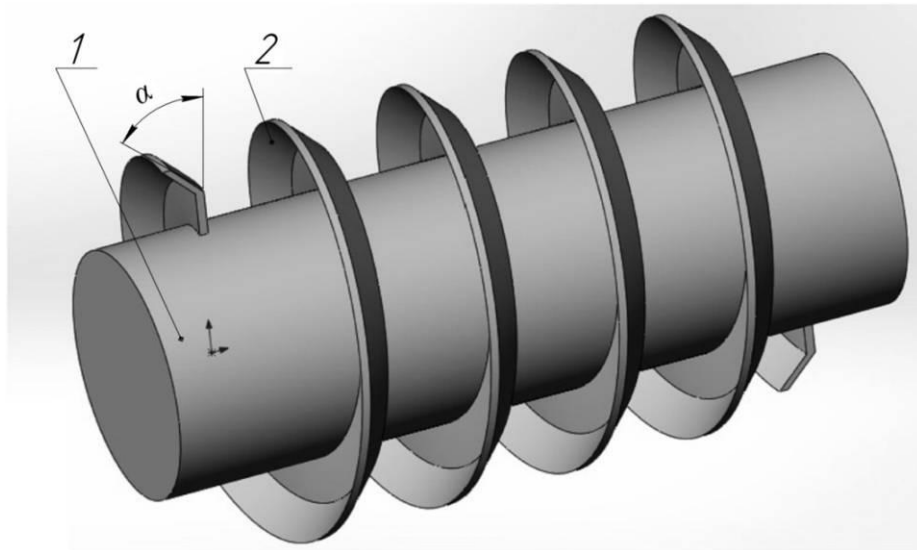


Рисунок 5.1. – Комп'ютерна модель ГЗВП:

1 – вал; 2 – ГЗВП

Для розрахунку кута нахилу полички  $\alpha$  та отримання відповідних графічних залежностей від зусиль та крутного моменту проведено моделювання відповідних умов дослідження. ГЗ жорстко закріплювали на оправі (на рис. 5.2 показано з лівої сторони) з можливістю осьового

обертання  $n$ . Змінними були наступні параметри: кут нахилу полицки  $\alpha$ , товщина витка  $s$  спіралі  $s$ ; ширина полицки  $B_n$  та матеріал заготовки.

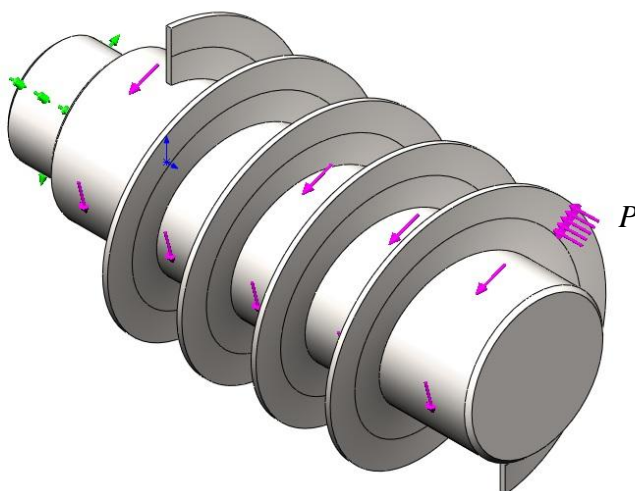


Рисунок 5.2. – Модель ГЗВП з прикладеними зусиллями гнуття полицки  $P$

Далі у вікні програми отримували графічне відображення переміщення елементів ГЗВП (рис. 5.3), напруження елементів ГЗВП (рис. 5.4) та деформації елементів ГЗВП (рис.5.5) під дією прикладеного зусилля гнуття.

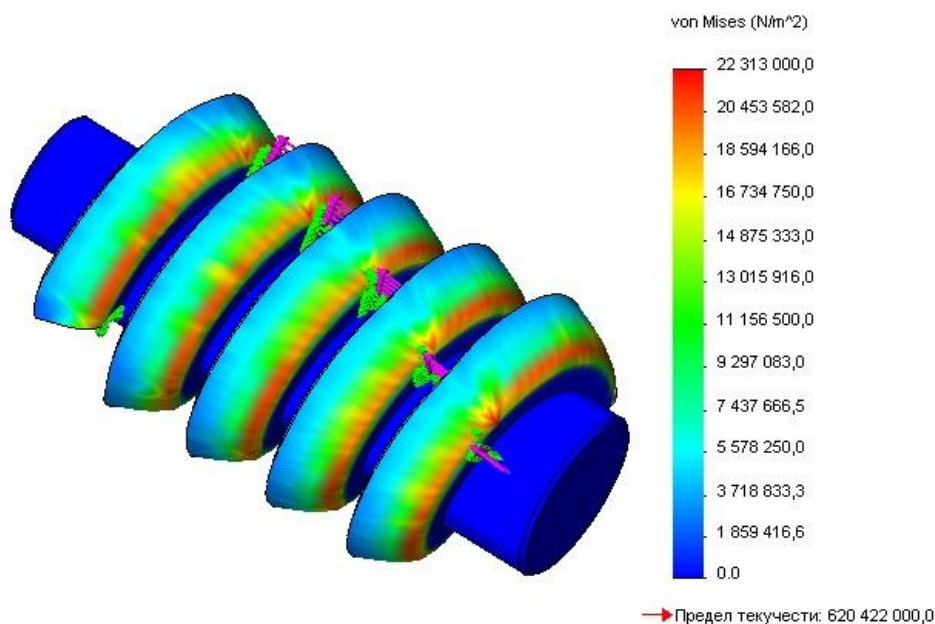


Рисунок 5.3. – Моделювання процесу формоутворення ГЗВП з визначенням напружень в матеріалі витків спіралі

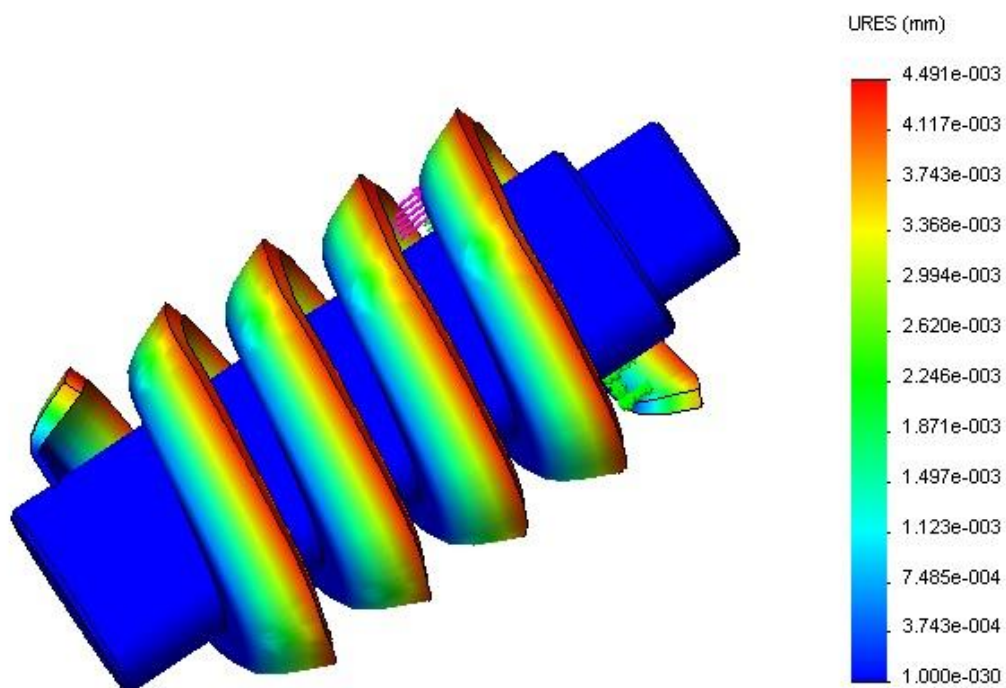


Рисунок 5.4. - Моделювання процесу формоутворення ГЗВП з визначенням переміщення матеріалу витків спіралі

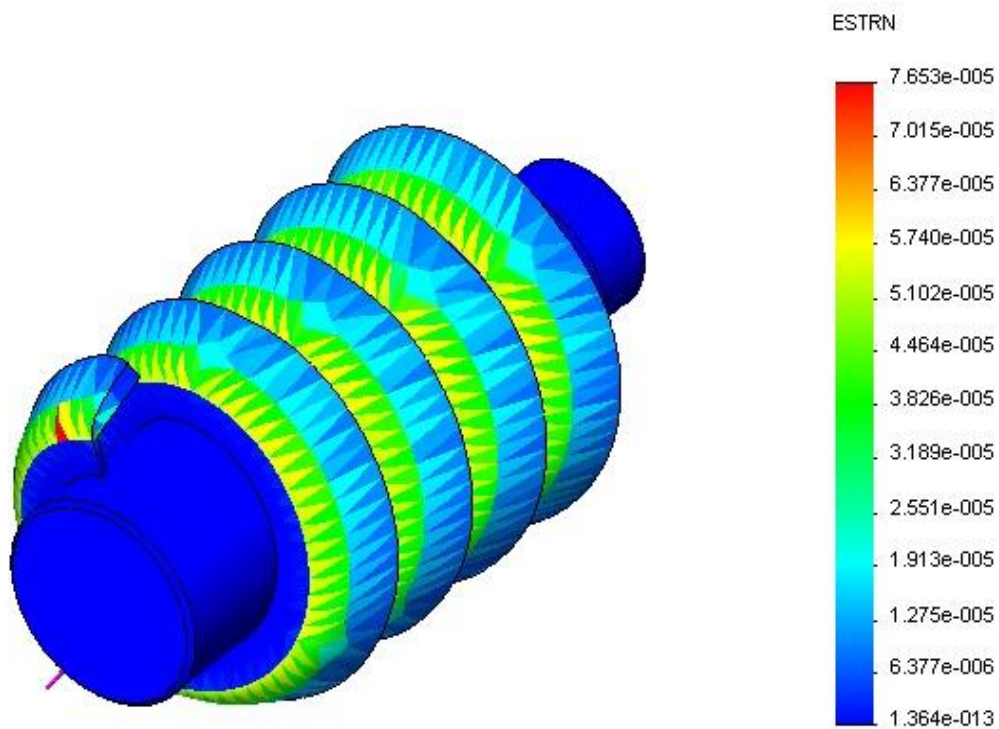


Рисунок 5.5. - Моделювання процесу формоутворення ГЗВП з визначенням деформація матеріалу витків спіралі

За отриманими даними комп'ютерного моделювання процесу формоутворення вигнутого профілю побудована графічна залежність зміни кута нахилу полицки в залежності від товщини витка спіралі  $s$  та прикладеного зусилля гнуття  $P_{зг}$  (рис 5.6).

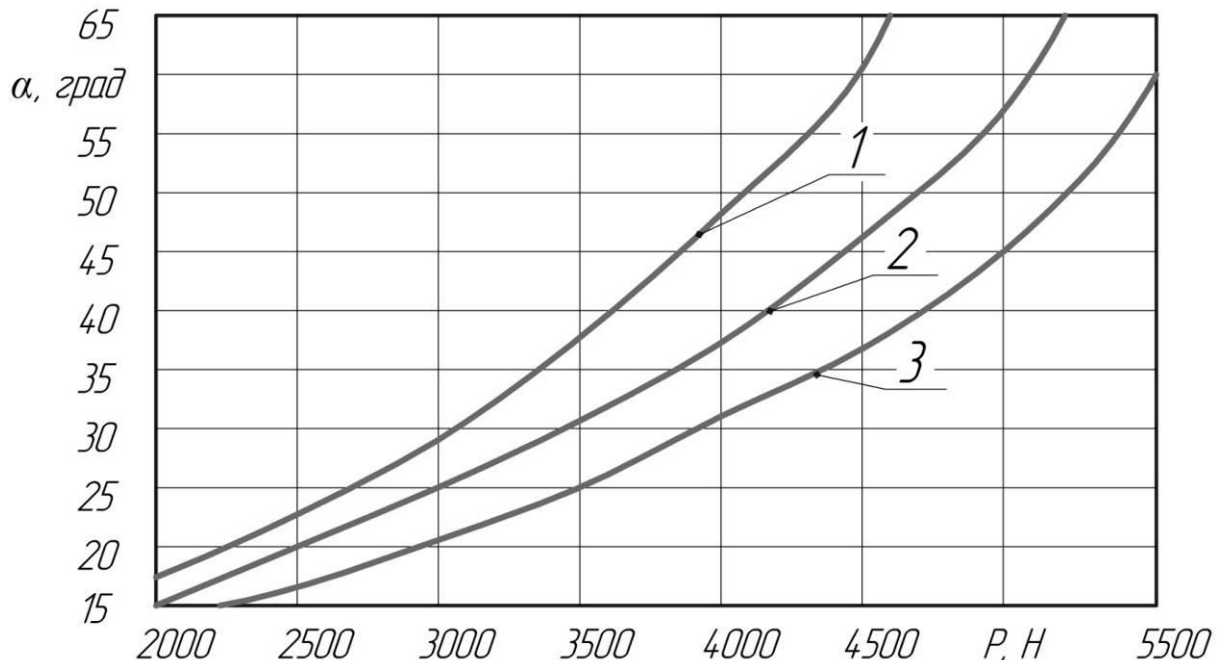


Рисунок 5.6. – Графічні залежності зміни кута нахилу вигнутого профілю  $\alpha$  від прикладеного зусилля гнуття  $P_{зг}$  при товщині витка спіралі  $s$ :

1) 1 мм; 2) 1,5 мм; 3) 2 мм

З графічних залежностей можемо зробити висновок, що на силові параметри процесу формоутворення вигнутого профілю на необхідний кут значний вплив має товщина витка спіралі. При збільшенні товщини витка спіралі та кута нахилу полицки зусилля гнуття збільшується. Більш стрімке зростання зусилля гнуття спостерігається на початковому етапі процесу гнуття і дещо зменшується в подальшому.

## 5.2 Інженерна методика проектування гвинтових стрічкових заготовок з вигнутим профілем

До основних вимог, які ставляться до ГЗВП, відносяться:

- відповідність їх функціональному призначенню;

- пружність і міцність матеріалу заготовки на кручення та згинання;
- надійність, довговічність, зносостійкість, опір корозії та спрацюванню в процесі експлуатації.

До основних факторів, які впливають на проектування та виготовлення ГЗВП, відносять:

- специфіку функціонального призначення даних деталей;
- особливості технологічних процесів виготовлення ГЗВП;
- матеріали для виготовлення ГЗВП;
- забезпечення уніфікації технологічного устаткування та робочих інструментів;
- геометричні параметри і конструктивні особливості;
- вимоги до якості і надійності в експлуатації.

Враховуючи конструкцію даного виробу (геометричні параметри, їх співвідношення), особливості процесу обробки тиском (в нагрітому та холодному станах), вплив фізико-механічних характеристик матеріалу заготовки та процесу гнуття, собівартість виготовлення і складність технології (більш ефективна заміна на нові деталі), доцільно використовувати низько та середньо леговані сталі (сталь 08кп, сталь 20, сталь 30), які добре себе зарекомендували для виготовлення аналогічних деталей.

При проектуванні гвинтових механізмів і їх робочих органів керуються ДСТУ 2672-94 [53], який встановлює загальні технічні вимоги до гвинтових механізмів. Для збільшення продуктивності роботи гвинтових механізмів як правило необхідно збільшувати габарити і розміри ГЗ. При використанні ГЗВП в конструкціях гвинтових механізмів частково вирішується проблема шляхом зменшення тертя та зношування робочих поверхонь транспортування.

Відпрацювання конструкцій гвинтових механізмів на технологічність слід здійснювати шляхом раціонального підбору матеріалів заготовки, уточнення обсягів випуску і типу виробництва, аналізу показників

технологічності окремих деталей та розробки заходів по їх покращенню. ГЗВП відносяться до оригінальних деталей з підвищеною технологічною складністю і трудомісткістю виготовлення.

При виготовленні ГЗВП необхідно розглядати, аналізувати й вибрати один із найбільш ефективних способів їх виготовлення із заданими конструктивними та технологічними параметрами (таблиця 5.1). Технологія виготовлення ГЗВП відрізняється від існуючих технологій виготовлення типових прямих спіралей тим, що існує необхідність у створенні додаткової полицки під певним кутом (від  $1^\circ$  до  $60^\circ$ ), що вимагає використання або спеціального устаткування, або виконання додаткових технологічних операцій.

Таблиця 5.1

Залежність коефіцієнта використання матеріалу заготовки від способу  
формування ГЗВП

№ п/п	Спосіб формування	Коефіцієнт використання матеріалу, К
1.	Штапування кілець Г-подібного профілю з одночасним чи подальшим їх розрізанням, розгинанням і зварюванням	0,4 - 0,5
2.	Навивання Г-подібних спіралей по внутрішньому торцевому профілю з прямокутних заготовок з одночасним чи наступним формуванням полицки	0,9 – 1,0
3	Прокатування циліндричної прямої спіралі з подальшим приварюванням полицки	0,55 - 0,98
4	Навивання циліндричної прямої спіралі з подальшим приварюванням полицки	0,9 – 1,0
5.	Навивання Г-подібних заготовок на ребро при завчасному формуванні полицки	0,9 – 1,0

Виготовлення ГЗВП спіралей можливе штампуванням кілець з наступним формуванням витка та зварювання у спіраль, виготовлення циліндричної прямої спіралі прокатуванням чи навиванням з подальшим приварюванням полицки під необхідним кутом (від  $1^\circ$  до  $60^\circ$ ), і при

використанні різних способів навивання: із смугових заготовок на ребро одночасно із формуванням полицки під певним кутом (від  $1^\circ$  до  $60^\circ$ ); із смугових заготовок на ребро з подальшою операцією гнуття полицки під певним кутом (від  $1^\circ$  до  $60^\circ$ ); із профільних Г-подібних заготовок на ребро при завчасному формуванні полицки під певним кутом (від  $1^\circ$  до  $60^\circ$ ). Найбільш раціональними способами виготовлення Г-подібних ГЗ є їх навивання по внутрішньому торцевому профілю з прямокутних заготовок з одночасним чи подальшим формуванням полицки. При цьому забезпечується високий коефіцієнт використання матеріалу й відпадає потреба у виконанні зварних з'єднань.

В залежності від мінімальної ширини полицки (згідно розрахунків, які викладені в підрозділі 2.1), визначають конструктивні параметри елементів формувального інструменту. Схема робочої зони формоутворення ГЗВП для розробки відповідної інженерної методики представлено на рисунку 5.7.

Необхідно відмітити, якщо умова міцності не буде виконуватись то потрібно зробити повторний розрахунок, змінюючи при цьому параметри, які забезпечують зниження максимальних зусиль деформації та крутних моментів для забезпечення виконання умови міцності.

Для прикладу проведемо розрахунок формувального інструменту для виготовлення ГЗВП із наступними параметрами: внутрішнім радіусом  $r = 23$  мм, зовнішнім радіусом  $R_{зов} = 48$  мм, шириною полицки  $B = 15$  мм і товщиною витка спіралі  $s = 1$  мм.

Виведено аналітичні залежності для визначення діаметра формувальної втулки  $d_e$  і діаметра притискної шайби  $d_{ш}$ :

$$d_{e_{max}} = d_{z_{max}} - 2b, \quad (5.1)$$

$$d_{ш_{max}} = d_{e_{max}} + s + d_{k_{min}} + 2actg\beta. \quad (5.2)$$



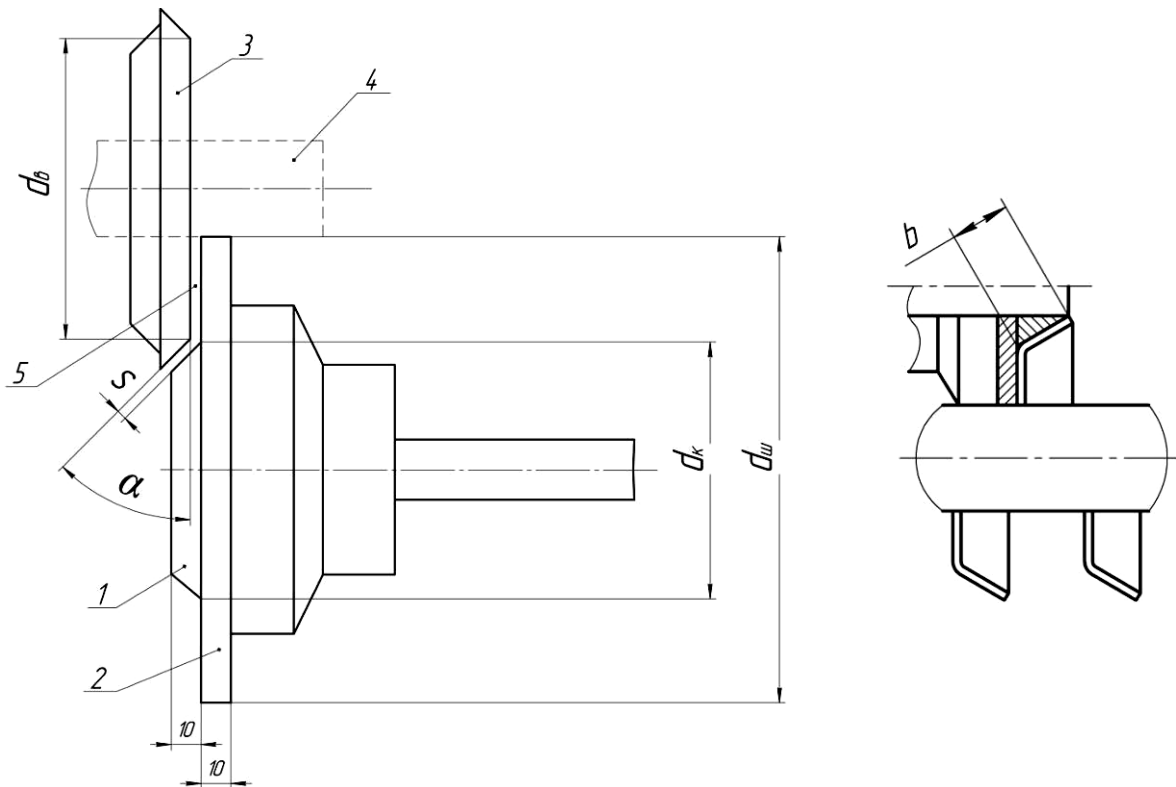


Рисунок 5.7. – Конструктивна схема для розробки інженерної методики для виготовлення вигнутого профілю

Проведемо розрахунок значення діаметра втулки  $d_{e_{max}}$  діаметра шайби  $d_{u_{max}}$  та діаметр кільця  $d_k$  для відповідних значень  $B_n$  при  $d_k = (30^\circ, 11,4 \text{ мм})$ .

Табличні значення  $d_{e_{max}}$ ,  $d_{u_{max}}$ , від величини  $b$  представлено в таблиці 5.2.

Таблиця 5.2

Табличні значення  $d_{e_{max}}$ ,  $d_{u_{max}}$ , в залежності від величини  $B_n$

Позначення	Роз.	Значення						
		5	10	15	20	25	30	35
$B_n$	мм	5	10	15	20	25	30	35
$d_{e_{max}}$	мм	90	80	70	60	50	40	30
$d_{u_{max}}$	мм	102,4	92,4	82,4	72,4	62,4	52,4	42,4

Значення діаметр кільця  $d_k$  визначається з залежності:

$$d_k = d_{k_{min}} + 2actg\beta \quad (5.3)$$

Результати проведених розрахунків значення діаметр кільця  $d_k$ , від діаметра шайби  $d_{u_{max}}$  при товщині витка спіралі  $s = 1$  мм для відповідних значень кута нахилу спіралі  $\alpha$  в табл. 5.3.

Таблиця 5.3

Табличні значення діаметра кільця  $d_k$ , діаметра шайби  $d_{u_{max}}$ , від величини кута  $\alpha$

Позначення	Роз.	Значення						
		10	20	30	40	50	60	70
$\alpha$	град.							
$d_k$	мм	205,3	144,7	124,4	137,3	106,8	101,6	97,3
$d_{u_{max}}$	мм	296,3	235,7	215,4	204,7	197,8	192,6	188,3

### 5.3 Технологічні методи підвищення експлуатаційної надійності та довговічності гвинтових робочих органів

Збільшення продуктивності машин, швидкості виконання ними технологічних операцій, різкі навантаження на робочі поверхні деталей, важкі умови експлуатації підвищують вимоги до надійності і довговічності машин та механізмів. Особливо це відноситься до робочих органів, які працюють в екстремальних умовах:

- великі силові та кінематичні параметри навантаження;
- динамічний характер їх зміни;
- вплив абразивного середовища;
- нерівномірність завантаження робочої зони;
- обмеженість у виборі вихідних даних;
- реверсний характер руху;
- часті зупинки та пуски та інше.

До таких деталей відносяться ГЗ (в т.ч. з вигнутим профілем), які є робочим елементом шнекових механізмів. Із практики експлуатації аналогічних деталей є проблема трибологічної надійності, (зносостійкості) їх робочих поверхонь. Для вирішення даного питання використовують

комплекс конструкторських, технологічних та експлуатаційних методів. Деталі даного типу, як правило не виробляють запланованого ресурсу, через інтенсивне абразивне зношування робочих поверхонь в технологічному середовищі (транспортуючий матеріал).

Інтенсивне, передчасне й нерівномірне зношування робочих поверхонь гвинтових стрічкових заготовок призводить до значних втрат первинної форми деталей необхідної для якісного виконання технологічних операцій транспортування, змішування.

При конструюванні робочих інструментів, для реалізації технологічного процесу виготовлення ГЗВП необхідно забезпечити не тільки експлуатаційні вимоги та вимоги до техніко-економічних показників їх роботи. Чим менша трудомісткість і собівартість їх виготовлення, тим більш технологічним вважається вибір, а чим менші сили (момент) тертя в зоні контакту деталей тим кращі експлуатаційні показники. При проектуванні та виготовленні даного устаткування та інструментів необхідно враховувати наступне: конструкція повинна бути якомога простішою і технологічнішою, забезпечувати задані параметри точності та якості формоутворюючих деталей, бути ремонтпридатною, включати в собі стандартизовані і нормалізовані деталі.

Забезпечення технологічності конструкції робочого інструменту, з точки зору трибологічної надійності (зносостійкості робочих поверхонь) – це взаємопов'язане вирішення конструкторських, технологічних та експлуатаційних завдань, направлених на підвищення надійності і довговічності, продуктивності процесу виконання технологічного процесу виготовлення ГЗВП, їх технічного обслуговування і ремонту.

Для забезпечення заданих технічних вимог до ГЗВП, враховуючи силові та кінематичні параметри технологічного процесу їх виготовлення, робочі (контактуючі деталі) інструменту виготовлялись із сталі 40X з подальшою термічною обробкою та шліфуванням (HRC 48-52, Ra 0,63).

Необхідно відмітити, що з вибором матеріалу ГЗ є певні обмеження. Використання високоякісних сталей (висока собівартість, підвищена твердість) обмежено у серійному та масовому виробництві через операцію гнуття полочки та самого процесу формоутворення ГЗ. Основна увага приділялась конструктивним засобам, як при виборі ГЗ так і при проектуванні робочого інструменту.

Абразивне зношування (його механічна або фізико-механічна форми) являється основною причиною виходу з ладу даних деталей машин та механізмів. Розроблення ефективних міроприємств по підвищенню трибологічної надійності і довговічності робочих поверхонь ГЗ залежить від наявності інформації про характер їх взаємодії із робочим середовищем, виду зношування характеру зміни основних триботехнічних параметрів (інтенсивність зношування, коефіцієнт тертя, коефіцієнт взаємного перекриття).

Підвищення експлуатаційної надійності та довговічності деталей гвинтових робочих органів машин забезпечує економію значних ресурсів в процесі їх експлуатації за рахунок скорочення витрат, пов'язаних з його простоями, зменшення витрат на ремонт і запасні частини. По мірі зношування деталей в парах (в даному випадку тертя-ковзання) тертя збільшуються зазори, порушується нормальна робота, виникають ударні навантаження на поверхні деталей та інше.

Важливим фактором, який визначає надійність і довговічність ГЗ, є різниця в товщині внутрішньої і зовнішньої крайки. При прокатуванні товщина зовнішньої крайки в 1.5 - 2.6 рази менша, ніж при навиванні.

При навиванні ця різниця зведена до мінімуму і складає 0.1 - 0.2 мм на 1 мм товщини витка спіралі проти 0.3 - 0.6 мм для прокатуванні. Таким чином, товщина витка спіралі зовнішньої крайки для одного і того ж типорозміру значно більша при навиванні, ніж при прокатуванні.

Як показують експериментальні дослідження, при відсутності мастила в робочій зоні необхідність в першочерговому притисканні, після навивання

першого витка спіралі практично відпадає. В подальшому осьова сила притискання  $Q$  утворюється від сили тертя, при осьовому переміщенні захоплюючої втулки наступних східних витків. З урахуванням умов навивання прийнято, що розтягуюче зусилля в навитій частині витка спіралі постійне. Для визначення силових і технологічних параметрів запишемо умову переміщення втулки по оправі в процесі навивання [24]:

$$F_{\text{тр}}^{\text{вт}} = \mu_0 (N_{\text{шп}} + N_{\text{опр}}), \quad (5.4)$$

де  $N_{\text{шп}}$  - нормальне зусилля в шпонковому сполученні;  $N_{\text{опр}}$  - нормальне зусилля контакту сполучення оправа-втулка.

$$F_{\text{тр}}^{\text{вт}} = \mu_0 N (\rho_{\text{ср}}/r) [1 + \sqrt{1 + (r/\rho_{\text{ср}})^2}] = k_f \mu_0 (\rho_{\text{ср}}/r) \Gamma \quad (5.5)$$

де  $k_f$  - коефіцієнт, який залежить від конструктивного виконання пристосування.

Сила тертя від осьового переміщення витка по оправі залежить від довжини дуги обхвату:

$$F_{\text{тр}}^{\text{оп}} = \mu_0 h_r \sigma_r \phi r = 2\pi n \mu_0 \Gamma \quad (5.6)$$

де  $n$  – кількість витків.

Сила осьового притиску:

$$Q = F_{\text{тр}}^{\text{вт}} + F_{\text{тр}}^{\text{оп}} = k_r \mu_0 (2\pi n + k_f \rho_{\text{ср}}/r) \Gamma \quad (5.7)$$

де  $k_r$  – коефіцієнт, який враховує наявність радіального притиску при навивці на зазначеному етапі.

Момент навивки, що прикладається до оправі:

$$M_{\text{н}} = M_{\text{н.і}} + M_{\text{вт}} \quad (5.8)$$

де  $M_{\text{н.і}}$  – момент від згину, що визначається по залежності;  $M_{\text{вт}}$  – момент для утримання направляючої втулки від обертання  $M_{\text{вт}} = k_Q \mu r Q$ ;  $k_Q$  – коефіцієнт, що враховує наявність упорного підшипника, при його наявності  $k_Q = 1.05$ , при відсутності  $k_Q = 2$ . Після навивання трьох-п'яти витків і наявності радіального підтиску  $P_r^{\text{пф}}$  зусилля тертя від осьового переміщення витків достатньо для створення необхідної осьової сили притискання  $Q$ .

Розглянемо умови навивання після виходу захоплюючої втулки із

зачеплення з оправою. Нехай радіальна складова сили пружного розгину витків становить  $P_r^{poz} = k_{poz} \cdot P$ , де за експериментальними даними  $k_{poz} = 0.7 - 0.9$

Тоді радіальна сила прижиму  $P_r^{пф}$  повинна бути більшою ніж  $P_r^{poz}$ :

$$P_r^{пф} > P_r^{poz}. \quad (5.9)$$

Осьова сила  $Q$ , забезпечує сходження витків з оправки:

$$Q = F_{тр}^{оп} + F_{тр}^{пф} = \vartheta \mu_0 (8\pi k_N N + P_r^{пф}), \quad (5.10)$$

де  $F_{тр}^{пф}$  – зусилля тертя від  $P_r^{пф}$ ;  $\vartheta$  - коефіцієнт перерозподілу сили тертя,  $\vartheta = 0.5 - 0.8$ ;  $k_N$  - коефіцієнт зменшення поздовжніх зусиль при сході захоплюючої втулки.

#### **5.4 Дослідження процесу розточування профільних гвинтових заготовок**

У гвинтових заготовках навитих дискретним методом при калібрування на крок зменшується внутрішній діаметр в залежності від цього потрібно проводити процес розточування. З метою визначення параметрів якості та точності проведенні теоретичні та експериментальні дослідження .

Для теоретичного дослідження шорсткості в процесі розточування ГЗВП розроблено емпіричну математичну модель на основі результатів експерименту, яка описує поведінку досліджуваного технологічного процесу, вплив його параметрів на шорсткість поверхні та рекомендує необхідні умови його проведення.

Дослідження шорсткості поверхні ГЗВП під час розточування залежить від великої кількості технологічних факторів. До цих факторів належать режими обробки, конструкція, геометрія та різального інструмента, тип і стан устаткування та технологічного оснащення, жорсткість та динамічні характеристики елементів технологічної системи.

По аналогії з дослідженнями процесу розточування звичайних циліндричних отворів шорсткість можна представити емпіричною математичною залежністю:

$$Ra = C \cdot S^p \cdot t^q \cdot V^l \cdot s^k, \quad (5.11)$$

де  $C$  - константа;  $S_{роз}$  - подача, мм/об;  $t$  - глибина різання, мм;  $V$  - швидкість різання, м/хв;  $s$  - товщина витка спіралі, мм;  $p, q, l, k$  - показники степені при відповідних параметрах.

Рівняння (5.11) можна представити в логарифмічній формі наступним чином:

$$\ln Ra = \ln C + p \ln S + q \ln t + l \ln V + k \ln s. \quad (5.12)$$

Враховуючи похибку експерименту  $\varepsilon$ :

$$y = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_3 x_3 + b_4 x_4 + \varepsilon. \quad (5.13)$$

Експеримент планували на основі багатофакторного аналізу, тобто одночасно вирівнювання усіх змінних факторів,  $x_1(S_{роз})$ ,  $x_2(t)$ ,  $x_3(V)$ ,  $x_4(s)$ . Щоб знайти залежність  $Ra=f(S_{роз}, t, V, s)$  використовували повний факторний експеримент типу  $2^k$ , де  $k$  – кількість змінних незалежних факторів ( $k=4$ ), що потребує реалізації 16 основних дослідів.

Зв'язок між кодованими  $x_i$  і натуральними факторами встановили за залежностями:

$$\left. \begin{aligned} x_1 &= \frac{2(\ln S - \ln 0,2)}{(\ln 0,2 - \ln 0,1)} + 1 \\ x_2 &= \frac{2(\ln t - \ln 1)}{(\ln 1 - \ln 0,5)} + 1 \\ x_3 &= \frac{2(\ln V - \ln 300)}{(\ln 300 - \ln 200)} + 1 \\ x_4 &= \frac{2(\ln s - \ln 1)}{(\ln 1 - \ln 0,6)} + 1 \end{aligned} \right\}. \quad (5.14)$$

Шукана математична модель досліджуваного процесу набере вигляду:

$$\ln Ra = 1,73 + 0,071x_1 + 0,081x_2 + 0,034x_3 + 0,177x_4. \quad (5.15)$$

Підставляючи значення формули (5.14) у рівняння (5.15), отримали формулу для визначення логарифму шорсткості розточування ГЗ:

$$\ln Ra = 4,27 + 0,021 \ln S + 0,042 \ln V + 0,098 \ln t + 0,71 \ln s \quad (5.16)$$

Отже, кінцева формула для визначення шорсткості поверхні в процесі розточування ГЗВП має вигляд:

$$Ra = \frac{71,52 \cdot S^{0,21} \cdot t^{0,098}}{V^{0,42} \cdot s^{0,71}} \quad (5.17)$$

За даними теоретичних досліджень побудовано графічні залежності (рис. 5.8) шорсткості поверхні внутрішнього діаметра ГЗ під час розточування.

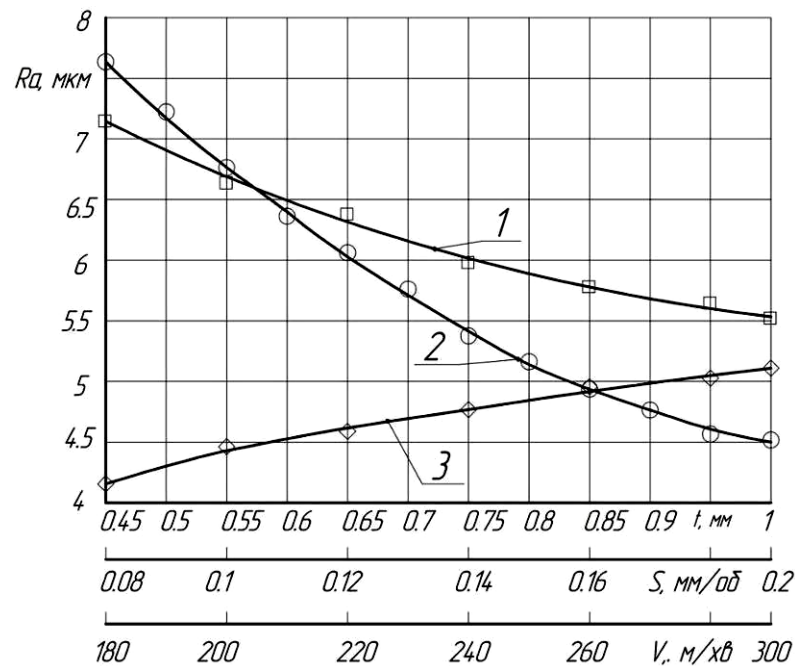


Рисунок 5.8. - Графік залежності шорсткості поверхні ГЗ після розточування від: 1) швидкості різання; 2) глибини різання; 3) подачі

З аналізу графічних залежностей на рисунку 5.8 можна зробити наступні висновки: для досягнення необхідної точності при розточуванні та шорсткості поверхні ( $Ra$  4,5 -6,5 мкм) швидкість різання повинна бути в межах 200-280 м/хв., глибина різання 0,55-0,9 мм, подача в межах 0,08-0,2 мм/об.

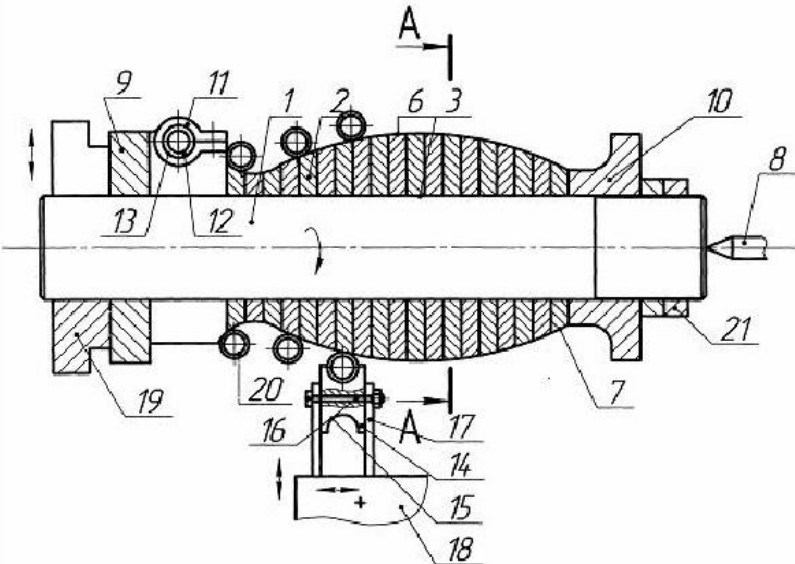


## 5.5 Перспективні пристрої для виготовлення гвинтових елементів та їх дослідження

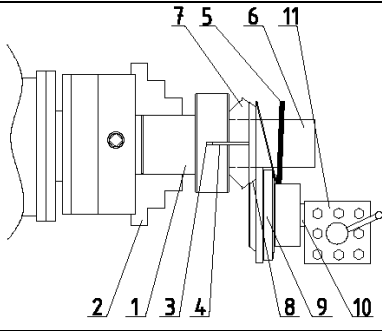
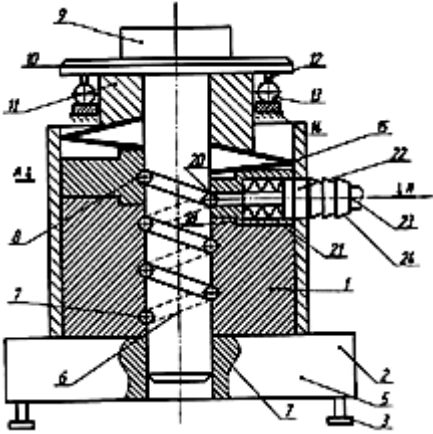
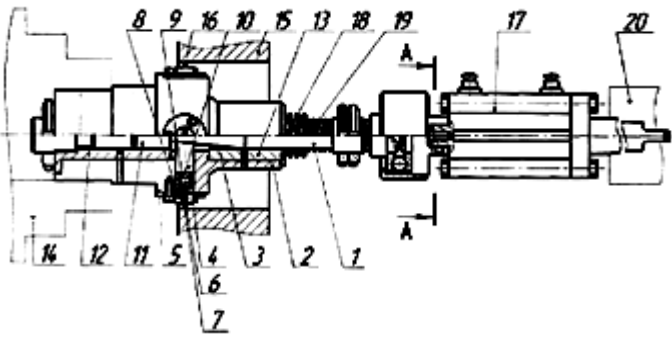
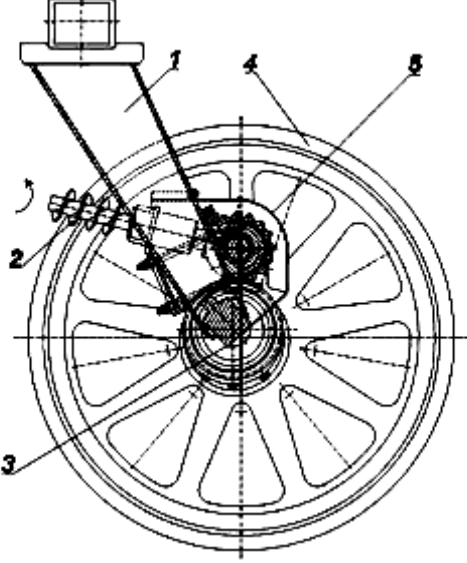
Формоутворення ГЗВП супроводжується складними технологічними процесами і потребує спеціального інструменту для їх виготовлення. Виготовляти ГЗВП можна як з одночасним, так і з подальшим формоутворенням вигнутого профілю. Якщо виконувати навивання уже профільної ГЗ на оправу, потрібно забезпечити малу степінь вільності ГЗ за допомогою формувальних роликів, що є досить складним у реалізації. Тому доцільно виконувати формоутворення з подальшою операцією гнуття ГЗ. Спроектоване та виготовлене в даній дисертаційній роботі устаткування, обладнання та інструмент забезпечують високу точність виробу з достатньо малими енерго- та матеріалозатратами. Розроблений інструмент та устаткування для формоутворення ГЗВП спроектовано з достатньо високими показниками міцності, що дозволяє виготовляти ГЗВП з великою товщиною витка спіралі. В таблиці 5.4 зображено пристрої для виготовлення гвинтових елементів та їх дослідження, на більшість з яких отримано патенти України на винахід.

Таблиця 5.4

Пристрої для виготовлення гвинтових елементів та їх дослідження

Конструктивна схема	Опис
<p style="text-align: center;">1</p> 	<p>2</p> <p>Основною перевагою пристрою[62] є формування різних профільних гвинтових елементів підвищення продуктивності праці, універсальність та автоматизація при виготовленні різних типорозмірів деталей.</p>

1	2
	<p>Запропонований пристрій [71] дозволяє навівання ГЗ з заданим кроком, що покращує технологічний процес забираючи операцію розтягування при навіванні в «щільний пакет»</p>
	<p>Пристрій [24] для формування ремонтних гвинтових заготовок навівання гвинтових спіралей з необмеженим зовнішнім діаметром підвищення продуктивності праці; зменшення зусилля навівання; формування зовнішнього діаметра гвинтових заготовок, які потрібно проточувати по зовнішньому діаметру.</p>
	<p>Пристрій для калібрування гвинтових заготовок під кутом при гнутті ГЗ з постійним кроком (позитивне рішення № u 2016 01276)</p>

	<p>Пристрій для гнуття і калібрування гвинтових профільних заготовок (позитивне рішення № u 2016 01316)</p>
	<p>Стенд для дослідження навантаження на витки гвинтової пари гвинтового механізму [61], що дає змогу досліджувати пружні характеристики ГЗВП.</p>
	<p>Розточувальна головка [67] удосконаленої конструкції, що зменшує зусилля розточування.</p>
	<p>Дисковий копач коренеплодів з шнековими очисниками [70] : 1 – рама; 2 – шнековий очисник з вигнутим профілем ; 3 – криволінійна вісь; 4 – диск копача; 5 – захисний кожух</p>

## 5.6 Техніко-економічне обґрунтування вибору способу виготовлення гвинтових стрічкових заготовок з вигнутим профілем

Проведемо орієнтовний підрахунок варіантів способів виготовлення ГЗВП для подальшого їх порівняння та вибору найбільш раціональних. Для цього скористаємось даними таблиці 5.5 (товщина витка спіралі – 2 мм; висота витка спіралі- 25 мм; зовнішній діаметр - 100 мм; матеріал - сталь 08кп).

Дані представлені в таблиці 5.5 є порівняльними і можуть змінюватись в залежності від зміни вартості обладнання та інше. Слід також відмітити те, що зазначена операція зварювання виконується за участю двох робітників і передбачає зачистку швів. Підрахунок відповідних витрат на виконання окремих операцій по способах виготовлення ГЗВП виконувався за відомою методикою [55]. При цьому використовувались наступні дані (станом на 22.02.2016р.): вартість матеріалу (сталь 08кп): лист (1,00×2,00) – 377 грн., смуга (25×2) – 4,71 грн./м/п; годинна тарифна ставка робітника 1-го розряду – 12,6 грн.; тарифні коефіцієнти: 2 розряд – 1,09, 3 розряд – 1,24, 4 розряд – 1,35, 5 розряд – 1,54; вартість електроенергії - 190,73 коп./кВт.год.

Витрати на основну і додаткову заробітну плату робітників визначаються по формулі [55]:

$$Z_o = T_i \cdot T_{cl} \cdot K_i \cdot K_d \cdot K_{\text{доп}}, \quad (5.18)$$

де  $Z_o$  - затрати на основну зарплату робітників;  $T_i$  - трудомісткість і-ї операції по виготовленню спіралі;  $T_{cl}$  - величина тарифної ставки 1-го розряду;  $K_i$  - тарифний коефіцієнт і-го розряду;  $K_d$  - коефіцієнт доплат, що входять до основної заробітної плати,  $K_d = 1,35$ ;  $K_{\text{доп}}$  – коефіцієнт, що визначає величину додаткової зарплати робітників,  $K_{\text{доп}} = 1,1$ .

Затрати на електроенергію орієнтовно визначаємо по формулі [55]:

$$B_{em} = \frac{P_{\text{вст}} \cdot T_i \cdot K_n}{\eta_d \cdot \eta_m} \cdot C_e, \quad (5.19)$$

де  $P_{вст}$  – електрична потужність обладнання, яке використовується для виготовлення спіралі, кВт;  $K_n$  - коефіцієнт, який враховує завантаження електроприводів по потужності (0,5-0,8);  $\eta_d$  - коефіцієнт корисної дії електродвигунів (0,90-0,96);  $\eta_m$  - коефіцієнт, який враховує втрати в електромережах (0,86-0,90);  $C_e$  - ціна однієї кВт/год. електроенергії, грн.

Таблиця 5.5

Дані для порівняння варіантів способів виготовлення вигнутого профілю на гвинтових спіралях

Номер способу з табл. 1 Специфічні дані	Спосіб №1 з табл. 5.1	Спосіб №2 з табл. 5.1	Спосіб №3 з табл. 5.1	Спосіб №4 з табл. 5.1	Спосіб №5 з табл. 5.1
Відходи матеріалу, %	50	2	15	2	2
Витрати електроенергії, год./кВт:					
- обладн. 1 операція:	7,5	7,5	12	7,5	15
- обладн. 2 операція:	7,6	-	7,6	7,6	7,5
Тип і марка обладнання:					
- 1 операція:	прес КД 2128 і спеціаль- ний штамп;	верстат 16Е16КП і спеціальне оснащення	спеціаль- ний прока- тний стан;	верстат 16Е16КП і спеціальне оснащення;	прес ДЕ2434;
- 2 операція:	апарат зварний ММА-230		апарат зварний ММА-230	апарат зварний ММА-230	верстат 16Е16КП та спеці- альне устатку- вання
Тривалість операції, м/п/хв.:					
- 1 операція:	0,3	0,6	1,8	0,6	0,2
- 2 операція:	12	-	12	12	0,6
Розряд робітника:					
- 1 операція:	2	5	3	5	2
- 2 операція:	4/2	-	4/2	4/2	5

Загальнозаводські витрати по машинобудівних підприємствах усереднено приймаються в розмірі 200% від основної заробітної плати основних робітників.

Результати розрахунку виробничої собівартості виготовлення 1 м/п ГЗВП (товщина витка спіралі – 2 мм; висота витка - 25 мм; зовнішній діаметр - 100 мм; матеріал - сталь 08кп) при використанні різних варіантів способів виготовлення відображено в таблиці 5.6.

Таблиця 5.6

Результати розрахунків виробничої собівартості виготовлення 1 м/п гвинтової спіралі з вигнутим профілем за окремими способами

Елементи витрат, грн.	Спосіб №1 з табл. 5.1	Спосіб №2 з табл. 5.1	Спосіб №3 з табл. 5.1	Спосіб №4 з табл. 5.1	Спосіб №5 з табл. 5.1
Сировина і основні матеріали (з врахуванням відходів)	37,68	19,22	22,16	19,22	19,22
Зарплата виробничих робітників	9,23	0,29	9,2	9,32	0,36
Нарахування на зарплату	3,51	0,11	3,5	3,54	0,14
Енергія на технологічні цілі	1,97	0,1	2,37	2,02	0,16
Загальнозаводські витрати	16,78	0,53	16,73	16,95	0,65
Разом виробнича собівартість	69,17	20,25	53,96	51,05	20,53

Провівши розрахунок виробничої собівартості виготовлення 1 м/п ГЗВП за окремими способами можна зробити висновок, що найбільш економічно ефективними способами виготовлення ГЗВП є навивання Г-подібних спіралей по внутрішньому торцевому профілю з прямокутних заготовок з одночасним чи наступним формуванням полички та навивання Г-подібних заготовок на ребро при завчасному формуванні полички. Виробнича собівартість виготовлення 1 м/п ГЗВП становить відповідно 20,25 грн. та 20,53 грн. Виготовлення ГЗВП шляхом навивання Г-подібних спіралей по внутрішньому торцевому профілю з прямокутних заготовок з одночасним чи наступним формуванням полички є приблизно втричі дешевшим, ніж їх виготовлення шляхом штампування кілець Г-подібного профілю з одночасним чи подальшим їх розрізанням, розгинанням і зварюванням, при прокатуванні циліндричної прямої спіралі з подальшим приварюванням полички чи при навиванні циліндричної прямої спіралі з подальшим приварюванням полички.

Проведене техніко-економічне обґрунтування вибору способу виготовлення ГЗВП підтвердило правильність обраного напрямку досліджень з пошуку ефективного технологічного процесу виготовлення ГЗВП. Економічний ефект при виготовленні 100 м/п ГЗВП запропонованим методом у порівнянні з штампуванням кілець Г-подібного профілю з одночасним чи подальшим їх розрізанням, розгинанням і зварюванням становитиме 4892 грн., у порівнянні з прокатуванням циліндричної прямої спіралі з подальшим приварюванням полички становитиме 3371 грн., і у порівнянні з навиванням циліндричної прямої спіралі з подальшим приварюванням полички становитиме 3080 грн.

## 5.7 Висновки

1. За допомогою пакету прикладних програм спроектовано комп'ютерну модель ГЗВП та визначені основні характеристики матеріалу заготовки в процесі формоутворення полицки. Встановлено, що основні напруження, деформація та переміщення матеріалу виникають на згині вертикальної частини стрічки та сформованої полицки. Також визначено, що для матеріалів, які використовувались в експериментальних дослідженнях, границя текучості не перевищує максимальні значення.

2. Обґрунтовано технологічні методи підвищення експлуатаційної надійності та довговічності гвинтових робочих органів. Розроблено методику проектування ГЗВП. Виведено аналітичні залежності для визначення параметрів притискної шайби та формувальної втулки для забезпечення ефективного процесу формоутворення вигнутого профілю на гвинтовій заготовці. Зокрема для ширини полицки  $B_n = 20$  мм і діаметра ГЗ  $D = 90$  мм значення діаметра притискної шайби повинні становити  $d_{umax} = 132,4$  мм, а діаметр формувальної втулки:  $d_g = 50$  мм.

3. Виведено аналітичні залежності для визначення шорсткості поверхні ГЗВП після розточування. За даними досліджень можна зробити висновок, що для досягнення необхідної точності при розточуванні для шорсткості поверхні  $Ra$  від 4,5 до 6,5 мкм швидкість різання повинна бути в межах 200 – 280 м/хв., глибина різання 0,55 – 0,9 мм, а подача в межах 0,08 – 0,2 мм/об.

4. Представлено перспективні конструкції пристрої для виготовлення гвинтових елементів та їх дослідження, на більшість з яких отримано патенти України на винахід. Отримані наукові та практичні результати, методики й рекомендації частково впроваджено і передано для використання у ПАТ «Червона зірка» (м. Кіровоград), НДІ трибології і матеріалознавства ХНУ, (м. Хмельницький), ТДВ «Булат» (с.м.т. Микулинці). Проведено техніко-економічне обґрунтування собівартості виготовлення ГЗВП в результаті якого встановлено, що виготовлення ГЗВП шляхом навивання стрічкової



заготовки з одночасним чи наступним формуванням полички є приблизно втричі дешевшим, ніж їх виготовлення іншими способами.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. У дисертації вирішено науково-технічну задачу, яка полягає в розробленні технологічного забезпечення виготовлення ГЗВП, які характеризуються покращеними експлуатаційними характеристиками та оптимальними конструктивними параметрами, які широко використовуються в конструкціях багатьох транспортно-технологічних механізмах, таких як транспортуючі та очисні шнеки, гвинтові сепаратори і спуски тощо. Літературно–патентний огляд технологічних процесів і устаткування для виготовлення ГЗВП свідчить про те, що використання способів прокатування і штампування, з метою їх отримання, супроводжується значними енергозатратами, а існуючі технології навивання ГЗВП не забезпечують у повній мірі можливості керування кутом нахилу полицки. Вперше запропоновано і апробовано технологічний процес виготовлення ГЗВП із заданим кутом нахилу полицки в її поперечному перерізі.

2. Досліджено силові параметри формоутворення полицок на стрічкових ГЗ за допомогою формувальних роликів. Встановлено, що в процесі навивання відбувається стиснення волокон матеріалу стрічки по внутрішньому діаметрі і розтягування волокон матеріалу стрічки по зовнішньому діаметрі ГЗ. Також встановлено, що в процесі навивання ГЗ в холодному стані в матеріалі проходить процес зміцнення, внаслідок чого зростають зусилля деформації в межах 6100 – 6400 Н для сталі 08кп при куті нахилу полицки  $\alpha = 10^\circ$  і, відповідно, в межах 6150 – 6500 Н та 6190 – 6700 Н для кутів  $\alpha = 20^\circ$  і  $\alpha = 30^\circ$ .

3. Встановлено, що в процесі гнуття полицок на ГЗі в холодному стані більша частина деформації матеріалу заготовки припадає на частину із сформованою полицкою та із збільшенням ширини полицки  $B_n$ , товщини витка спіралі  $s$ , та кута її нахилу  $\alpha$  в межах від  $10^\circ$  до  $35^\circ$  момент гнуття гвинтового елемента зростає. Зокрема, для заготовки зі сталі 08кп та при куті

нахилу полички  $\alpha = 35^\circ$  із зростанням товщини витка спіралі  $s$  від 1 мм до 2 мм відбувається зростання крутного моменту на оправі  $M_o$  від 12 до 95 Нм.

4. Розроблено розрахункову схему динамічної моделі процесу проточування зовнішньої крайки ГЗ. Виведено аналітичні залежності для визначення кінетичної і потенціальної енергій системи динамічної моделі процесу проточування і значення функції розсіювання. Складено диференціальне рівняння руху системи для визначення крутильних і лінійних коливань ГЗ, оправи та різця. На основі цих розрахунків виведено аналітичні залежності для визначення динамічних навантажень на систему.

5. Побудовано графічні залежності зміни величини зусиль різання в часі, кута деформації ГЗВП в часі, кута деформації оправи під час проточування ГЗВП радіусом 100 мм із сталі 08кп. Побудовано графічні залежності зміни лінійної деформації ГЗВП та різця в часі. В результаті проведених досліджень встановлено характер зміни зусиль різання в діапазоні 690 – 780 Н на протязі 0,5 с. Визначено коливання різця в межах 0,02-0,07 мм та коливання ГЗ в межах 0,03 – 0,17 мм за 0,7 с.

6. Спроектовано і виготовлено комплект технологічного устаткування та інструменту для формоутворення вигнутого профілю на ГЗ різними методами. Розроблено методики проведення експериментів із формоутворенням вигнутого профілю на ГЗ та проточування її зовнішньої крайки за допомогою перетворювача частоти ALTIVAR та програмного забезпечення PowerSuite v.2.5.0 з отриманням на дисплеї комп'ютера результатів про зміну крутного моменту та потужності двигуна в часі. Для обраної методики визначено максимальні значення складових зусиль різання із подальшим вибором відповідних режимів оброблення.

7. За результатами проведеного повнофакторного експерименту ПФЕЗ<sup>3</sup> підтверджено теоретичні викладки, які відносяться до встановлення закономірностей зміни крутного моменту в процесі формоутворення вигнутого профілю на стрічковій ГЗ (сталь 08кп, сталь 20 та сталь 30) від зміни діаметру ГЗВП  $D$  (в межах 90 – 118 мм), товщини витка спіралі  $s$  (в

межах 1 – 2 мм) та кута нахилу полицки  $\alpha$  (в межах  $10^\circ - 35^\circ$ ). Встановлено, що переважаючими факторами, які впливають на величину крутного моменту  $\epsilon$ : діаметр ГЗВП  $D$  та товщина витка спіралі  $s$ , кут нахилу полицки  $\alpha$  на силові параметри процесу формоутворення вигнутого профілю впливає не значно. Встановлено зміни крутного моменту від діаметра ГЗВП  $D$  та товщини витка спіралі  $s$ , які знаходяться в межах 14 – 94 Н·м (сталь 08кп), 15 – 104 Н·м (сталь 20), 18 – 115 Н·м (сталь 30) при  $\alpha = 20^\circ$ . Розбіжність між результатами теоретичних і експериментальних досліджень становить 7% – 13%.

8. Експериментально встановлено, що формоутворення ГЗВП за розробленою методикою з використанням формувальних втулок, у порівнянні з шнековою оправою, має ряд переваг: менш енергозатратна; забезпечує рівномірне формоутворення вигнутого профілю на ГЗ із забезпеченням необхідної точності кута нахилу  $\alpha$ ; дозволяє уникати гофрування вигнутого профілю на ГЗ; може використовуватись при формоутворенні вигнутого профілю з товщиною витка спіралі  $s$  від 3 до 5 мм; потребує значно меншу кількість технологічного устаткування, особливо при зміні типорозмірів ГЗ.

9. Експериментально визначено оптимальні режими різання в процесі точіння зовнішньої крайки ГЗВП, які повинні знаходитись в межах 280 - 300 м/хв. Аналіз результатів експериментальних досліджень процесу проточування зовнішньої крайки ГЗВП для сталі 08кп, сталі 20 та сталі 30 свідчить, що підвищення швидкості різання зменшує силу різання, збільшення глибини різання і подачі приводить до зростання зусилля різання. При силі різання до 550 Н кут нахилу полицки практично не змінюється, а при її збільшенні спостерігається зміна кута нахилу полицки в межах 1 - 3°.

10. На основі реалізованих математичних моделей розроблено методики визначення конструктивних, кінематичних і технологічних параметрів процесу формоутворення ГЗВП. Розроблено новий технологічний процес формоутворення ГЗВП та інженерну методику проектування

технологічного устаткування та інструменту для виготовлення ГЗВП. Отримані наукові та практичні результати, методики й рекомендації частково впроваджено і передано для використання у ПАТ «Червона зірка» (м. Кіровоград), НДІ трибології і матеріалознавства ХНУ, (м. Хмельницький), ТДВ «Булат» (с.м.т. Микулинці). Розрахунок виробничої собівартості виготовлення ГЗВП за різними способами показав, що виготовлення ГЗВП шляхом навивання стрічкової ГЗ з одночасним чи наступним формуванням полички є приблизно втричі дешевшим, ніж їх виготовлення іншими способами.

**СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ**

1. Аверкиев Ю.А. Характер формоизменения и силовые условия при гибке полосы на ребро / Аверкиев Ю.А.// Вестн. Машиностроения. – 1981. – № 1. – С.64-66.
2. Адлер Ю. П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Ю. П. Адлер, Е. В. Маркова, Ю. В. Грановский. – М. : Наука, 1976. – 279 с.
3. Безухов И.И. Основы теории упругости, пластичности и ползучести / Безухов И.И. // - М.: Высшая школа, 1968.-512с.
4. Бернштейн М.Л. Прочность стали / Бернштейн М. Л. // М.: Металлургия, 1974. – 199 с.
5. Васильків В.В. Розрахунок усадки стрічки на оправці при виготовлення заготовок / Васильків В. В. // Науковий вісник НАУ, №49,К: 2002. – С. 44 – 55.
6. Гевко Б.М. Исследование процесса навивки спиралей шнеков на оправку / Гевко Б. М. // Изв. вузов. Машиностроение. – 1984. - № 8. – С. 117 - 122.
7. Гевко Б.М. Научные основы разработки винтовых транспортирующих механизмов сельскохозяйственных машин: Автореф.дис. на соиск. уч. ст. д-ра техн. наук: / Гевко Б. М. // Ин-т сельскохозяйственного машиностроения. - Ростов-на-Дону, 1987. – 32 с.
8. Гевко Б.М. Технология изготовления спиралей шнеков. / Гевко Б. М.// – Львов: Вища школа. Изд-во при Львовском университете, 1986. – 128 с.
9. Гевко Б.М. Винтовые подающие механизмы сельскохозяйственных машин. / Б. М. Гевко, Р. М. Рогатынский // – Львов: Вища школа. Изд. при уни-те, 1989.– 176с.
10. Гевко Б.М. Выбор оптимальных параметров шнеков / Б.М. Гевко, Р.М. Рогатынский // Изв. вузов. Машиностроение. – 1983. - № 6. - С. 105-109.
11. Герман Х. Шнековые машины в технологии ФРГ. / Герман Х. // – Л.: Машиностроение, - Львов. - 1975.- 148 с

12. Горбунов М.Н. Глубокая вытяжка листовых металлов с применением подогрева / М.Н. Горбунов, В.Ф. Катков // Труды МАТИ, 1956. – № 29.- С.5-27.
13. Гоффман О. Введение в теорию пластичности для инженеров: / О.П. Гоффман, Г.К. Закс // Пер. с англ. Под. ред. З.И.Григолюка. – М.: Машгиз, 1957. – 279 с.
14. Григорьев А.М. Гибкие шнеки / А.М.Григорьев, П.А. Преображенский // – К.: Знание, 1967. – 245 с.
15. Громов Н.П. Теория обработки металлов / Громов Н.П. //- М.: Металлургия, 1978.-360 с.
16. Губкин С.И. Пластическая деформация металлов. В 3-х т. / Губкин С.И. // – М. Металлургия, 1960. – Т.1. – 376 с.; т.2. – 416 с.; т.3. – 306 с.
17. Гун Г.Я. Пластическое формоизменение металлов. / Г.Я. Гун, П.И. Полухин, В.П. Полухин, Б.Л. Прудковский // - М.: Металлургия, 1968. – 416 с.
18. Гупка А. Б. Дослідження силових параметрів формоутворення гвинтових очисних елементів / Ів. Б. Гевко, А. Є. Дячун, А. Б. Гупка // Вісник Житомирського державного технологічного університету. Серія: Технічні науки. – Житомир, - 2015. Вип. 1 (72). - С. 21-26.
19. Гупка А. Б. Технологічні основи формоутворення спеціальних профільних гвинтових заготовок / О. Л. Ляшук, А. Г. Палюх, А. Б. Гупка // Вісник Житомирського державного технологічного університету. Серія: Технічні науки. – Житомир, 2015. – Вип. 1 (70). - С. 27-31.
20. Гупка А.Б Шнекові очисники дискових копачів коренеплодів з г-подібними спіралями/ Гевко І.Б, Васильків В.В, А.Б Гупка, // Вісник ХНТУСГ ім. Петра Василенка, Механізація сільськогосподарського виробництва. – Харків, 2015. – Випуск 156 - С.519-526.
21. Гупка А.Б. Верстат для ремонту та відновлення криволінійних осей сільськогосподарських машин/ Гевко І.Б., Гудь В.З., Гупка Б.В., Гупка

А.Б. // Вісник ХНТУСГ ім. Петра Василенка, ресурсозберігаючі технології, матеріали та обладнання у ремонтному виробництві – Харків, 2014. – Випуск 146 - С.111-114.

22. Гупка А.Б. Вибір матеріалів дисків копачів коренезбиральних машин / Гупка А.Б., Смолій М.К., Романовський Р.Р. // Тези доповідей Всеукраїнської студентської науково-технічної конференції ТНТУ ім. Івана Пулюя «Природні та гуманітарні науки. Актуальні питання» – Тернопіль, 2008 – Том 1 – с. 147.

23. Гупка А.Б. Зміцнення викопуючих дисків коренезбиральних машин / А.Б. Гупка // Збірник наукових статей Сільськогосподарські машини – Луцьк, 2013. – Випуск 26 – С. 58-64.

24. Гупка А.Б. Конструктивно технологічні методи підвищення експлуатаційної надійності та довговічності гвинтових робочих органів/ А.Є. Дячун, В.З. Гудь, А.Б. Гупка, П.В. Босюк // Вісник ХНТУСГ ім. Петра Василенка. – Харків, 2014. – Випуск 151 - С.194-197.

25. Гупка А. Б. Обґрунтування параметрів переналагоджувальних кондукторів для свердління отворів при виготовленні та відновленні / А. В. Гагалюк, А. Б. Гупка. В. М. Клендій, І. М. Кучвара, В. В. Крук // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. Кіровоград, 2012 – Вип. 42. – С. 110 – 116.

26. Гупка А.Б. Особливості конструкції дискових копачів коренезбиральних машин/ Гупка А.Б. // Вісник ХНТУСГ ім. Петра Василенка, ресурсозберігаючі технології, матеріали та обладнання у ремонтному виробництві – Харків, 2014. – Випуск 146 - С.154-159.

27. Гупка А.Б. Технологічні методи забезпечення експлуатаційної надійності важко навантажених пар тертя сільськогосподарських машин./ Б.В Гупка, А.Б. Гупка.// Вісник ХНТУСГ ім. Петра Василенка. – Харків, 2014. – Випуск 151 - С.254-258.

28. Гупка А. Б. Трибологія важконавантажених пар тертя. Методика дослідження / А. Б. Гупка // Збірник тез доповідей XV наукової конференції



Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя, 14 грудня 2011 р.: тез допов. – Тернопіль: ТНТУ, 2011. – С. 87.

29. Гурвич В:Е. Холодная прокатка спиралей шнеков / В:Е. Гурвич, Д.Р. Шифрин, Ю.П. Воробьев // Кузнечно-штамповочное производство. - 1981. – № 9. – С. 9 - 10.

30. Данильченко Л. М. Технологічне забезпечення точності формоутворення витих заготовок: Дис. канд. техн. наук: 05.02.08, – Львів, 2000. – 175 с.

31. Довнар С.А. О моделировании горячего процесса пластической деформации металлического тела. / Довнар С.А. // - В кн.: Сб. научных трудов. Вып. 4.- Минск: Изд-во АН БССР, 1958. - С. 124-132.

32. Драган А.П. Теоретичні передумови технологічного процесу виготовлення гвинтових гофрованих заготовок : автореф. диф. на здобуття наук. ступення канд. техн. наук : спец. 05.02.08 «Технологія машинобудування» / А.П. Драган. // – Тернопіль, 2007. – 21 – с.

33. Душинський В. В. Основи наукових досліджень. Теорія і практикум з програмним забезпеченням / Душинський В. В.// – К. : НТУУ “КПІ”, 1998. – 408 с.

34. Егоров В.А. Об изготовлении винтовых лент прокаткой / Егоров В.А. // Тракторы и сельскохозяйственные машины. -1972. – № 12. – С.41 - 43.

35. Егоров В.А. Особенности прокатки винтовых лент / Егоров В.А. // Тракторы и сельскохозяйственные машины . -1974. – №5. – С. 41 - 43.

36. Зайков М.А. Режимы деформации и усилия при горячей прокатке / Зайков М.А. // Свердловск: Metallurgizdat, 1960. – 300 с.

37. Зайков М.А. Критерий пластичности при обработке металлов давлением / М.А. Зайков, В.Н. Перетяцько // Изв. Вузов. Черная металлургия-1959.- № 8. – С.75-86.

38. Закс Г. Пластическое металловедение / Закс Г.К. // - М.: ОНТИ, 1938. - 244 с.

39. Зубцов М.Е. Листовая штамповка / Зубцов М.Е. // - Д.:

Машиностроение, 1980. - 432 с.

40. Ильющин А.А. Пластичность. Ч.1. / А.А. Ильющин // М.-Л.: ГТИ, 1984. – 346 с

41. Казачковський Н. Н. Програма PowerSuite для настройки преобразователей частоты и устройств плавного пуска (версия 2.3.0): методичні вказівки [для слухачів курсів підвищення кваліфікації та студентів спеціальності 7.092203 «Електромеханічні системи автоматизації та електропривід»] / Н. Н. Казачковський, Д. В. Якупов. – Дніпропетровськ : НГУ, 2006. – 45 с.

42. Кайбышев О.А. Пластичность и сверхпластичность металлов / Кайбышев О.А. // - М.: Metallurgiya, 1975. - 279 с.

43. Качанов Л.М. Основы теории пластичности. / Качанов Л.М. // – М.: Гостехтеориздат, 1956.-324 с.

44. Конвеєри гвинтові. Загальні технічні вимоги : ДСТУ 2672:94. – [Чинний від 1995-01-01]. – К. : Держспоживстандарт України, 1995. – 10 с. – (Національний стандарт України).

45. Корнеев Н.И. Пластическая деформация металлов и термический режим обработки давлением сталей и сплавов / Корнеев Н.И. // – М.: Машгиз, 1949. - 52 с.

46. Лысовой М. Н. Теория и расчет процессов изготовления деталей методами гибки / Лысовой М. Н. // – М. : Машиностроение, 1966. – 236 с.

47. Ляшук О.Л. Технологічне забезпечення виготовлення деталей тіл обертання з профільного прокату: дис. Кандидата техн. наук : 05.02.08 / Ляшук Олег Леонтійович . – Тернопіль, 2006. – 274 с.

48. Ляшук О.Л. Обґрунтування конструктивних параметрів інструментів для виготовлення Г-подібних заготовок // Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем (Донбаська державна машинобудівна академія). –Вип. 16. – Краматорськ: ДДМА., 2004. – С.32-37.

49. Малинин Н.Н. Пластический изгиб листа при больших деформациях / Н.Н.Малинин, А.А. Ширшов // – Изв. вузов. Машиностроение,

1965. – №8. – с. 187-192.

50. Мещерин В.Т. Технология производства кузнечноштамповочного оборудования и штамповой оснастки / В.Т. Мещерин, Д.В. Чарнко // – М.: Машгиз, 1961. -375.

51. Мошнин Е.М. Гибка и правка на ротационных машинах / Мошнин Е.М. // – М.: Машиностроение, 1977. – 269 с.

52. Муфти запобіжні кулачкові. Параметри та розміри : ДСТУ 2130:93. – [Чинний від 1995-01-01]. – К. : Держспоживстандарт України, 1995. – 8 с. – (Національний стандарт України).

53. Муфти запобіжні кулькові. Параметри та розміри : ДСТУ 2134:93. – [Чинний від 1995-01-01]. – К. : Держспоживстандарт України, 1995. – 8 с. – (Національний стандарт України).

54. Новосад І.Я. Технологічне забезпечення виготовлення секцій робочих органів гнучких гвинтових конвеєрів : дис. кандидата техн. наук : 05.02.08 / Новосад Іван Ярославович. – Тернопіль, 2007. – 229 с.

55. Обґрунтування економічної ефективності виготовлення гвинтових робочих органів сільськогосподарських машин / [І. Б. Гевко, І. Г. Ткаченко, Г. С. Нагорняк та ін.] // Сільськогосподарські машини: зб. наук. статей. – Луцьк, 2007. – Вип. 16. – С. 37–44.

56. Одинг И.А. Теория дислокаций в металлах и ее применение / Одинг И.А. // М., Изд-во АН СССР, 1959. – 84 с.

57. Основы теории обработки металлов давлением / С.И. Губкин, Б.П. Звороно, В.Ф. Катков, И.А. Норицын, Е.А. Попов, Г.А. Смирнов-Аляев, А.Д. Томленов, Е.П. Унксов, Л.А. Шофман // Под ред. М.В.Сторожева. – М.: Машгиз, 1959. – 540 с.

58. П.Бочвар А.А. О разных механизмах пластичности в металлических сплавах / П.Бочвар А.А. // Изв. АН СССР. - 1948. - №5. - С. 649 - 653.

59. Пат. 38108 Україна, МПК В21D11/06 Пристрій для виготовлення спіралей шнеків/ Пилипець М.І., Гевко І.Б., Генік І.С., Комар Р.В. - № 2000053068 ; заявл. 30.05.2000; опубл. 15.05.2001, Бюл. № 4, 2001 р.

60. Пат. 39649 Україна, МПК 7В21D11/06 Пристрій для неперервного навивання профільних гвинтових спіралей / Гевко І. Б.- № 2000116688; заявл. 7.11.2000; опубл 15.06.2001, Бюл. № 5, 2001 р.

61. Пат. 44148 Україна, МПК (2009) G01M 13/00, B65G 33/00 Стенд для дослідження навантаження на витки гвинтової пари гвинтового механізму / Гевко Ів.Б., Ляшук О.Л., Дзюра В.О., Диня В.І., Шевчук О.С., Брошак І.І., Любачівський Р.О - № u200902118; заявл. 11.03.2009; опубл. 25.09.2009, бюл. № 18/2009

62. Пат. 44468 Україна, МПК В21D 11/06 Пристрій для виготовлення профільних гвинтових елементів / Палюх А.Я., Гевко Ів.Б., Ляшук О.Л., Івасечко Р.Р. - № u200902594; заявл. 23.03.2009; опубл. 12.10.2009, бюл. № 19/2009

63. Пат. 50280 А Україна, МПК В21D11/06 Пристрій для виготовлення спіралей шнеків / Васильків В.В. Радик Д.Л. - № u2001128575 ; заявл. 13 12 2001; опубл. 15 10 2002, Бюл. №10 2002 р

64. Пат. 51906 Україна, МПК (2009) В23В 49/00 Переналагоджувальний свердлильний кондуктор / Брошак І.І., Гагалюк А.В., Гупка Б.В., Ляшук О.Л., Дячун А.Є, Гевко Іг.Б. - № u201000091; заявл. 11.01.2010; опубл. 10.08.2010, бюл. № 15/2010

65. Пат. 62616А Україна МКВ В21D11/06. Пристрій для формоутворення профільних гвинтових елементів на крок / І.Б. Гевко, А.П. Драган, О.Л. Ляшук.-№2003043403; Заявл.15.04..2003; Опубл. 15.12.2003; ; Бюл. № 12-2с.

66. Пат. 87037 Україна, МПК В21D 11/06 Пристрій для навивання гвинтових заготовок/ Ляшук О.Л.Гурик О. Я.,Кучвара І. М.,Гевко І. Б.,Саранчук Л. І.- № 2013 05486 ; заявл. 29.04.2013; опубл. 27.01.2014, Бюл.№ 2, 2013 р.

67. Пат. 89727 Україна, МПК В23В 29/00, В23В 35/00 Розточувальна головка / Гевко Б.М., Босюк П.В., Гевко Іг.б., Білик С.Г. - № u201314601; заявл. 13.12.2013; опубл. 25.04.2014, бюл. № 8/2014

68. Пат. 89729 Україна, МПК В23В 5/14 Оправка з розточувальним кулісним механізмом / Гевко Іг.Б., Хітров І.О., Босюк П.В., Диня В.І. - № u201314606; заявл. 13.12.2013; опубл. 25.04.2014, бюл. № 8/2014

69. Пат. 90721 Україна, МПК G01В 3/00 Контрольний пристрій для заміру сферичних поверхонь / Гевко Іг.Б., Квас М.І., Босюк П.В., Диня В.І. - № u201314844; заявл. 18.12.2013; опубл. 10.06.2014, бюл. № 11/2014

70. Пат. 95391 Україна, МПК А01D 25/02 Дисковий копач коренеплодів / Гевко Б.М., Гупка Б.В., Гудь В.З., Дячун А.Є - № u201406788; заявл. 16.06.2014; опубл. 25.12.2014, бюл. № 24/2014.

71. Пат. 98904 Україна, МПК В21D 11/06 Пристрій для навивання гвинтових ущільнюючих і стопорних елементів механізмів / Дячун А.Є, Ляшук О.Л., Гевко Іг.Б., Кучвара І.М - № u201412904; заявл. 02.12.2014; опубл. 12.05.2015, бюл. № 9/2015.

72. Пилипець М.І. Науково - технологічні основи виробництва навивних заготовок деталей машин: дис. Д-ра техн. наук : 05.02.08 / Михайло Ількович Пилипець. – Львів, 2002. – 445 с.

73. Полухин П.П. Сопротивление пластической деформации металлов и сплавов / Полухин П.П., Гун Г.Я., Галкин А.М. // – М.: Metallurgiya, 1976. – 488с

74. Прокатное производство. Справочник. Т.1. - М.: Metallurgizdat, 1962. –743с.

75. Рене И.П. Изменение толщины листовой заготовки при чистом изгибе / И.П. Рене // Труды Тульского механического института. – 1950. – Вып.4. – С. 163-176.

76. Рене И.П. Пластический изгиб листовой заготовки / И.П. Рене // Труды Тульского механического института. – 1950. – Вып.4, С. 146-162.

77. Рішення НДЦПЕ Держпатенту України про видання патенту на винахід за N 98105192 від 27.04.99. Транспортер/ Назар І. Й., Гевко Р. Б. Заявлено 01.10.98.

78. Рогатинський Р.М. Дослідження напружено-деформівного стану гвинтових робочих органів / Р.М. Рогатинський // Вісник національного аграрного університету. Т.1. Сучасні проблеми сільськогосподарського машинобудування. К.,: 1997. - С. 34 – 39.

79. Романова Н. В. Основы научно-технического творчества и патентования [учеб. пос.] / Н. В. Романова, А. Ю. Вагарин, Д. А. Усанов. – Саратов : САИН, 2003. – 64 с.

80. Романовский В.П. Справочник по холодной штамповке / Романовский В.П. // – Л.: Машиностроение, 1979. - 520с.

81. Сверхпластичность металлических материалов. М.: Изд-во АН СССР, 1973.-217 с.

82. Смирнов В.С. Теория обработки металлов давлением / Смирнов В.С. // – М.: Металлургия, 1973. – 496 с.

83. Смирнов-Аляев Г.А., Механические основы пластической обработки металлов / Смирнов-Аляев Г.А.// – М.: Машиностроение, 1968 – 272 с.

84. Соколов Л.Д. Сопротивление металлов пластической деформации / Соколов Л.Д. // – М.: Metallurgizdat, 1963. – 284 с.

85. Соколовский В.В. Теория пластичности. / В.В Соколовский.// – М.: Высшая школа, 1969. – 608 с.

86. Сторожев М.В., Попов Е.А. Теория обработки металлов давлением / М.В. Сторожев, Е.А. Попов // – М.: Машиностроение, 1977. –427 с.

87. Тарнавский И.Я. Механические свойства стали при горячей обработке давлением. / И.Я. Тарнавский, А.А. Поздеев, О.А. Гонаго, Г.А. Хасин // – М.: Metallurgizdat, 1960. – 284 с.

88. Теория пластичности, – М.: ГИИЛ, 1948.- 452 с.

89. Томленов А.Д. Теория пластического деформирования металлов

/ Томленов А.Д. // – М.: Металлургия, 1972. - 408 с.

90. Томсен Э. Механика пластической деформации при обработке металлов: Пер. с англ. / Э. Томсен, Ч. Янг, Ш. Кобаяши // – М.: Машиностроение, 1969. – 503 с

91. Третьяков А.В. Механические свойства металлов и сплавов при обработке давлением. Изд. 2-е / А.В. Третьяков, В.И. Зюзин // М.: Металлургия, 1973. - 224с.

92. Третьяков А.В. Механические свойства металлов и сплавов при обработке давлением / А.В. Третьяков, Г.К. Трофимов, Зюзин // - М.: Металлургия, 1964. – 221с.

93. Унксов Е.П. Инженерная теория пластичности. Методы расчета усилия деформирования / Унксов Е.П. // - М.: Машгиз, 1959. -328 с.

94. Хилл Р. Математическая теория пластичности / Хилл Р. // – М.: Гостехиздат, 1956. – 407 с.

95. Церна А.Е. Исследование и основные процессы холодной прокатки лент шнеков. Автореф.дис. канд. техн. наук. –М., 1975.-25с.

96. Шенк Х. Теория инженерного эксперимента / Х. Шенк // – М.:Мир, 1972.– 374 с.

97. Шенкель Г. Шнековые прессы для пластмасс: Пер. с нем / Г. Шенкель // Л.: Госхимиздат, 1962. - 468 с.

98. Шифрин Д.Я., Гурвич В.Е., Нудель С.Н Холодная вальцовка спиралей шнеков для самоходного кормоуборочного комбайна КСК-100 / Д.Я. Шифрин, В.Е. Гурвич, С.Н. Нудель // Кузнечно штамповочное производство. -1984. - № 3. - С. 4-6.

99. Europaische Patentanmeldung. O 187 889 A1. Schneckenfurdervorrichtung. Anmeldetag: 16.4.85. Offentegungstag: 23.07.86.

100. European Patent O 005 498 A1. Sectional conveyor chain for granulated and/or powdered materials, particularly for fodders. Date of filing: 08.05.79. Date of publication of application 28.11.79.

101. European Patent O 096 673 A2. Device for the transfer of material between a substantially horizontal and substantially vertical bore conveyor. Date of filing: 03.06.83. Date of publication of application 21.12.83.

102. Fernandez J. Effect of screw design on hopper draw down by a horizontal screw feeder /J. Fernandez, P. Cleary, W. McBride // Seventh International Conference on CFD in the Minerals and Process Industries CSIRO (Melbourne, Australia, 9-11 December 2009).

103. Gypka A. B. Investigating the force parameters of forming the screw purifying elements / Iv. B. Hevko, A. Y. Dyachun, A. B. Gypka // Materials international symposium ISB – INMA THE «Agricultural and mechanical engineering», 29-31 October 2015 p. – Bucharest, 2015. – P. 191-196.

104. Gill, David R., The most efficient distance between two points article, Paint & Coatings Industry; Aug2002, Vol. 18 Issue 8, p64.

105. Hevko I.B. Investigation of the stability of the torsional vibrations of a screw conveyor under the influence of pulse forces / I.B. Hevko, A.Ye. Dyachun, V.Z. Hud, L.R. Rohatynska L.R., Klendiy V.M. // INMATEH «Agricultural Engineering » vol 45, no. 1 / 2015. PP. 77-86, Bucharest. ISSN 2068-2239. (Scopus).

106. Japan patent. JP 55093715A. B65G33/16; B65G33/26. Articulated screw conveyor in bent pipe or unshaped groove. 16.07.1980.

107. Japan patent. JP 55093715A. B65G33/16; B65G33/26. Flexible screw conveyor. 25.01.2008.

108. Kalpakjian, Serop. Manufacturing engineering and technology. USA: Addison-Wesley Publishing Company, 1989.

109. Koller R. Konstruktionsmethode für den Maschinen-Geräte-und apparatebau-Berlin: Springer-Verlag, 1976. – 184 S.

110. Lake Ekelund. Screw conveyor № 4,717,014 B65G65/16. – Date of Patent: Jan. 5, 1988.

111. McKelvey J.M. : Polymer Processing. New York : John Wiley & Sons, Inc. 1962.



112. Nilsson L. - G. On the vertical screw conveyor for non-cohesive bulk materials / L. G. Nilsson; Acla polytechnica Scandinavica. – Stockholm, 1971. – 96
113. Finan J.S., Hurley W.J. Transitive calibration of the AHP verbal scale / J.S. Finan, W.J.Hurley // European Journal of Operational Research. – 1999. – V.112.
114. Rehgugler Gerald E. Screw conveyors – state of the art. Trans. ASAE, 1967, 10, №5, 615–618, 621.
115. Rodenaker W.G. Methodisches Konstruieren. Springer-Verlag: Berlin-Heidelberg-New York, 1970. – 223 S.
116. Rogers D.F., Adams J.A. Mathematical elements for computer graphics, MacGrawHill, New York, 1976.
117. TurboPascal Users Guide. Borland International, INS. 1989. – 350 p.
118. Pat. US2359900 Classification international: B21D11/06; B21K7/00; Method of making car springs / Application number: US19410407768 19410821 Priority number(s): US19410407768 19410821 Publication date: 1944-10-10
119. Uchida K., Okamoto K. Measurement of powder flow in a screw feeder by x-ray penetration image analysis // Measurement Science and Technology. 2006. V. 17. P. 419-426.
120. Deutsches Patentamt. DE 30 18 929 A1. Biigsne Schnecke fur Schneckenforderer. Anmeldetag: 17.10.79. Offentegungstag 26.11.81.
121. Uchida K., Okamoto K. X-ray visualisation of powder flow in a screw feeder for different shaped screws // Journal of Visualisation. 2007. V. 10. 4. P. 347-348.
122. United States Patent 2,830,695. Flexible screw conveyor. Filed: Dec. 16.1955. Date of publication of application: 15.04.58.
123. Verguts H., Sowerby R. The pure plastic bending of laminated sheet metals. International Journal of Mechanical Sciences, v. 17,N1,197 5.-p.31-51
124. Wong F., Yong Tan P. Neural Networks And Genetic Algorithm For Economic Forecasting // AI in economics and business administration. Institute of systems Science, National University of Singapore, 1999.

## ДОДАТКИ

## Додаток А1





УКРАЇНА

(19) UA (11) 44148 (13) U  
 (51) МПК (2009)  
 G01M 13/00  
 B65G 33/00

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ  
 І НАУКИ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ  
 ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
 ВЛАСНОСТІ

## ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

видається під  
 відповідальність  
 власника  
 патенту

(54) СТЕНД ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ НАВАНТАЖЕННЯ НА ВИТКИ ГВИНТОВОЇ ПАРИ ГВИНТОВОГО МЕХАНІЗМУ

1

2

(21) u200902118

(22) 11.03.2009

(24) 25.09.2009

(46) 25.09.2009. Бюл.№ 18, 2009 р.

(72) ГЕВКО ІВАН БОГДАНОВИЧ, ЛЯШУК ОЛЕГ ЛЕОНТІЙОВИЧ, ДЗЮРА ВОЛОДИМИР ОЛЕКСІЙОВИЧ, ДІНЯ ВОЛОДИМИР ІВАНОВИЧ, ШЕВЧУК ОКСАНА СТЕПАНІВНА, БРОЩАК ІВАН ІВАНОВИЧ, ГУПКА АНДРІЙ БОГДАНОВИЧ, ЛЮБАЧІВСЬКИЙ РОМАН ОРЕСТОВИЧ

(73) ГЕВКО ІВАН БОГДАНОВИЧ, ЛЯШУК ОЛЕГ ЛЕОНТІЙОВИЧ, ДЗЮРА ВОЛОДИМИР ОЛЕКСІЙОВИЧ, ДІНЯ ВОЛОДИМИР ІВАНОВИЧ, ШЕВЧУК ОКСАНА СТЕПАНІВНА, БРОЩАК ІВАН ІВАНОВИЧ, ГУПКА АНДРІЙ БОГДАНОВИЧ

(57) Стенд для дослідження навантажень на витки гвинтових пар гвинтових механізмів, що виконано у вигляді гайки, яка жорстко закріплена до плити і яка є у взаємодії з гвинтом через тіла кочення, які встановлені у напівкруглі гвинтові канавки гвинта, та окремих елементів навантаження на виток гвинтової пари, який відрізняється тим, що суцільна гайка жорстко вертикально встановлена на плиту відомим способом, зверху в яку вгвинчено гвинт з головкою під ключ, а під головкою гвинта встановлена опорна шайба, яка по центру є у взаємодії з рухомою втулкою з можливістю осьового переми-

щення, а знизу по торцях опорна шайба з двох радіальних сторін є у взаємодії з ніжками динамометрів, які жорстко встановлені на підставки, а знизу опорна шайба є у взаємодії з тарілчастими пружинами, які знизу є у взаємодії з торцем гайки, причому довжина суцільної частини гайки є рівною довжині 3-8 витків, а решта довжина гайки виконана з окремих верхніх витків секцій, які оброблені в зборі з суцільною гайкою в спеціальному пристрої, причому по зовнішньому діаметру гайка виконана шестигранної форми, яка встановлена у відповідну циліндричну касету з внутрішнім шестигранним отвором, рівним шестигранному профілю гайки, і окремих секцій з можливістю осьового переміщення, на верхньому кінці суцільної частини гайки напроти витків різьби у тілі гайки і касети рівномірно по колу жорстко встановлені три елементи навантаження на один виток у вигляді різьбових вставок напроти тіл кочення, а всередині гвинтових вставок виконано наскрізні отвори, в які з боку тіл кочення (кульок) вставлені циліндричні пальці, в яких виконані сферичні виїмки радіусом, рівним радіусу тіл кочення, і з ними вони є у взаємодії, а зверху вставок встановлені тарілчасті пружини, які є у взаємодії з торцем гідравлічних поршнів, які системою каналів і шлангів з'єднані з гідронасосом і манометрами.

Корисна модель належить до галузі машинобудування і може мати широке використання у всіх галузях народного господарства.

Відомий стенд для дослідження навантаження на витки гвинтової пари гвинтового механізму, який виконано у вигляді гайки, яка жорстко закріплена до плити, яка є у взаємодії з гвинтом через тіла кочення, які встановлені у півкруглі гвинтові канавки гвинта, окремих елементів навантаження на виток гвинтової пари (Турпаев А.И. Винтовые механизмы и передачи. М.: Машиностроение, 1982, рис. 93).

Основний недолік прототипу - обмежені технологічні можливості і мала продуктивність дослідних операцій.

Основною метою корисної моделі є розширення технологічних можливостей і підвищення продуктивності стенда шляхом використання стенда у вигляді гайки, яка жорстко закріплена до плити і яка є у взаємодії з гвинтом через тіла кочення, які встановлені у напівкруглі гвинтові канавки гвинта, окремих елементів навантаження на виток гвинтової пари, причому суцільна гайка жорстко вертикально встановлена на плиту відомим способом, зверху в яку вгвинчено гвинт з головкою під ключ, а під головкою гвинта встановлена опорна шайба,

(19) UA (11) 44148 (13) U

яка по центру є у взаємодії з рухомою втулкою з можливістю осьового переміщення, а знизу по торцях опорна шайба з двох радіальних сторін є у взаємодії з ніжками динамометрів, які жорстко встановлені на підставки, а знизу опорна шайба є у взаємодії з тарілчастими пружинами, які знизу є у взаємодії з торцем гайки, причому довжина суцільної частини гайки є рівною довжини 3...8 витків, а решта довжина гайки виконана з окремих верхніх витків секцій, які оброблені в зборі з суцільною гайкою в спеціальному пристрої, причому по зовнішньому діаметру гайка виконана шестигранної форми, яка встановлена у відповідну циліндричну касету з внутрішнім шестигранним отвором, рівним шестигранному профілю гайки і окремих секцій з можливістю осьового переміщення, на верхньому кінці суцільної частини гайки напроти витків різьби у тілі гайки і касети рівномірно по колу жорстко встановлені три елементи навантаження на один виток у вигляді різьбових вставок напроти тіл кочення, а всередині гвинтових вставок виконано наскрізні отвори, в які зі сторони тіл кочення (кульок) вставлені циліндричні пальці, в яких виконані сферичні виїмки радіусом, рівним радіусу тіл кочення, і з ними вони є у взаємодії, а зверху вставок встановлені тарілчасті пружини, які є у взаємодії з торцем гідравлічних поршнів, які системою каналів і шлангів з'єднані з гідронасосом і манометрами.

Стенд для дослідження навантаження на витки гвинтової пари гвинтового механізму зображено на Фіг.1, Фіг.2 - вид по А-А на Фіг.1 і Фіг.3 - стенд модернізований для заміру навантаження на другий виток гвинтової пари.

Стенд для дослідження навантаження на витки гвинтової пари гвинтового механізму (Фіг.1) виконано у вигляді суцільної гайки 1, яка вертикально жорстко закріплена до плити 2 відомим способом, остання встановлена на підставки 3. Суцільна гайка зовнішнім шестигранником 4 встановлена в циліндричну касету 5 з внутрішнім шестигранником отвором, рівним профілю шестигранної гайки 1, з можливістю осьового переміщення. Суцільна гайка 1 є у взаємодії з гвинтом 6 через тіла кочення 7, які встановлені у напівкруглі гвинтові канавки 8. Зверху в суцільну гайку 1 загвинчено гвинт 6 з головкою під ключ 9, а під головкою гвинта встановлена опорна шайба 10, яка по центру є у взаємодії з рухомою втулкою 11. Знизу по краях опорна шайба 10 взаємодіє з двох радіальних сторін з ніжками 12 підставних динамометрів 13, які жорстко встановлені на підставки 14.

Знизу опорна шайба 10 взаємодіє з тарілчастими пружинами 15, які знизу взаємодіють з торцем суцільної гайки 1. Причому довжина суцільної

гайки 1 є рівною 3...8 виткам в залежності від того, на скількох витках необхідно заміряти навантаження, а два-три верхніх витки 16 виконані у вигляді окремих секцій, які обробляються разом в зборі з суцільною гайкою 1 в спеціальному пристрої (на кресленні не показано).

На верхньому кінці суцільної частини гайки напроти витків різьби 8 у тілі суцільної гайки 1 і касети 5 рівномірно по колу встановлені три елементи навантаження на один виток у вигляді різьбових вставок 17 напроти тіл кочення 6, які є у взаємодії з тілами кочення гвинтової пари. Всередині різьбових вставок 17 суцільної гайки 1 виконано наскрізні отвори 18, в які зі сторони тіл кочення 6 вставлені циліндричні пальці 19 і в них виконані сферичні виїмки 20 радіусом, рівним радіусу тіл кочення 6, і з ними вони є у взаємодії. Зверху у різьбових вставках 17 встановлені тарілчасті пружини 21, які з другого торця є у взаємодії з гідравлічними поршнями 22, які системою каналів 23 і шлангів з'єднані з гідрокомпресором і манометром (на кресленні не показано) через штуцери 24 і гідрошланги (на кресленні не показано).

Робота стенда здійснюється наступним чином. Коли досліджують навантаження на перший виток гвинтової пари, то використовують стенд, зображений на Фіг.1. За допомогою динаметричного ключа (на кресленні не показано) гвинт 9 загвинчуємо в суцільну гайку 1 таким чином, щоб в системі був мінімальний натяг без зазорів. Гідроканали 23 з'єднують через штуцери 24 і гідрошланги з гідростанцією з манометрами (на кресленні не показано), а підставні манометри 13 вставляють на нульовий показ. Після цих підготовчих робіт за допомогою динаметричного ключа гвинт 9 загвинчують до створення відповідного тиску в гідрокомпресорі, який заносять в таблицю.

Для визначення навантаження на другий і на наступні витки проводять переустановку в пристрої, який зображений на Фіг.3. При цьому на суцільну гайку 1 в циліндричну касету 4 зверху гайки добавляють верхній виток 16 гайки з тілами кочення 6 таким чином, щоб вони створили одне ціле - з суцільною гайкою 1 і з тілами кочення суцільної гайки 1, а перший виток суцільної гайки з різьбовими вставками опускаються на другий виток, за допомогою якого здійснюють заміри навантаження на другий виток. Тиск в гідро компресії заносять в таблицю. Аналогічно заміряють тиски і на 3, і 4, і так далі витками.

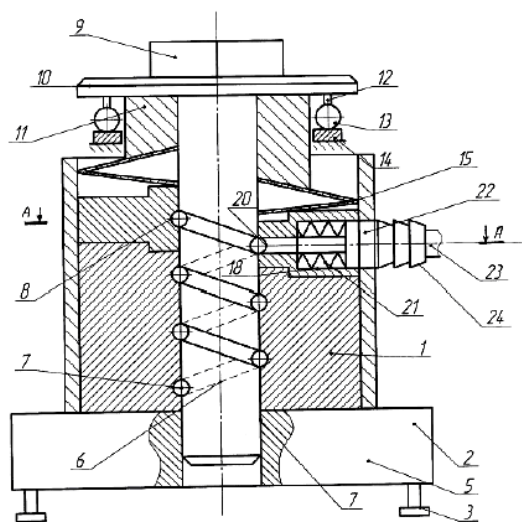
Після завершення досліджень підраховують навантажувальну здатність на досліджених витках.

До переваг стенда відноситься розширення технологічних можливостей і підвищення продуктивності праці дослідних робіт.

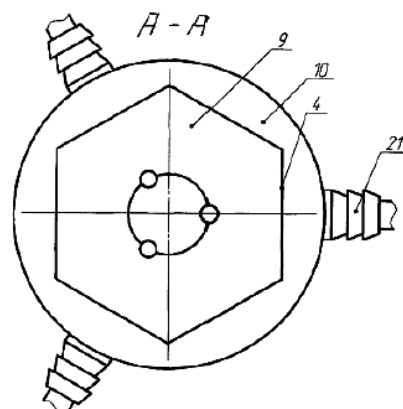
5

44148

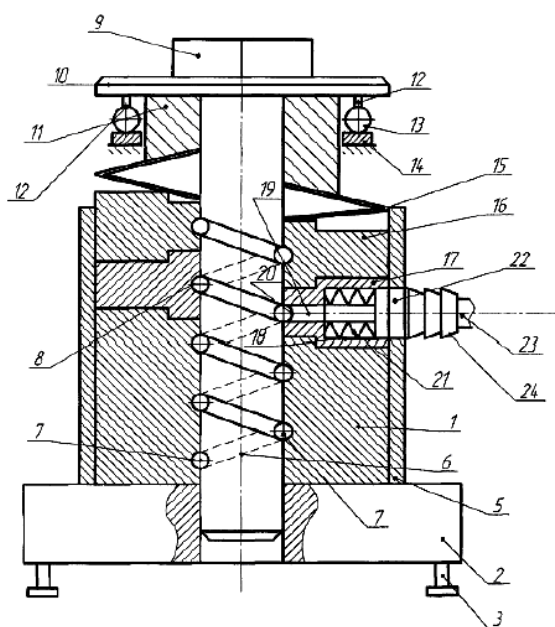
6



Фиг. 1



Фиг. 2



Фиг. 3



УКРАЇНА

UKRAINE



ПАТЕНТ

НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

№ 44468

ПРИСТРІЙ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ПРОФІЛЬНИХ  
ГВИНТОВИХ ЕЛЕМЕНТІВ

Видано відповідно до Закону України "Про охорону прав на винаходи і корисні моделі".

Зареєстровано в Державному реєстрі патентів України на корисні моделі **12.10.2009**.

Голова Державного департаменту  
інтелектуальної власності

A handwritten signature in blue ink, appearing to read "M.V. Paladiy", is written over the printed name.

М.В. Паладій





УКРАЇНА

(19) UA (11) 44468 (13) U  
 (51) МПК  
 B21D 11/06 (2009.01)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ  
 І НАУКИ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ  
 ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
 ВЛАСНОСТІ

## ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

видається під  
 відповідальність  
 власника  
 патенту

(54) ПРИСТРІЙ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ПРОФІЛЬНИХ ГВИНТОВИХ ЕЛЕМЕНТІВ

1

2

(21) u200902594

(22) 23.03.2009

(24) 12.10.2009

(46) 12.10.2009, Бюл.№ 19, 2009 р.

(72) ПАЛЮХ АНДРІЙ ЯРОСЛАВОВИЧ, ГЕВКО  
 ІВАН БОГДАНОВИЧ, ЛЯШУК ОЛЕГ ЛЕОНТІЙО-  
 ВИЧ, ІВАСЕЧКО РОМАН РОМАНОВИЧ, ГУПКА  
 АНДРІЙ БОГДАНОВИЧ

(73) ПАЛЮХ АНДРІЙ ЯРОСЛАВОВИЧ, ГЕВКО  
 ІВАН БОГДАНОВИЧ, ЛЯШУК ОЛЕГ ЛЕОНТІЙО-  
 ВИЧ, ІВАСЕЧКО РОМАН РОМАНОВИЧ, ГУПКА  
 АНДРІЙ БОГДАНОВИЧ

(57) Пристрій для виготовлення профільних гвинтових елементів, який виконано у вигляді приводу, токарного патрона, заднього центру, оправки, на якій встановлені центральними отворами диски з конічними зовнішніми поверхнями з можливістю осьового переміщення за формою і розмірами аналогічно внутрішній формі гвинтового елемента, а по зовнішньому діаметру у вигляді плавної конічної форми, а з двох кінців на оправці жорстко закріплені циліндричні опори у вигляді втулок, ліва з яких є у жорсткій взаємодії з кінцем циліндричної

заготовки, яка жорстко закріплена в токарному патроні, який відрізняється тим, що оправка з дисками є у взаємодії через шпонку, яка жорстко встановлена на оправці по зовнішньому діаметру по всій її довжині, крім цього, зовнішня твірна дисків виконана зовнішньої бочкоподібної або іншої форми з переходом на два кінці зі зменшеними або іншими діаметрами, крім цього, в лівій опорі з торця до дисків жорстко встановлено відомої конструкції хомут з внутрішнім діаметром, меншим зовнішнього діаметра труби (заготовки), з можливістю регулювання його величини відомим способом, який є у взаємодії з кінцем труби (заготовки), а по зовнішньому діаметру труба (заготовка) є у взаємодії з притисним роликом, по зовнішньому діаметру якого виконана кругова півкругла канавка радіусом, рівним зовнішньому радіусу труби (заготовки), з можливістю кругового обертання на осі і осьового переміщення паралельно осі оправки, яка закріплена на кронштейні, який має осьове і радіальне переміщення разом з супортом верстата і який є у взаємодії з копіром верстата відомої конструкції.

Корисна модель відноситься до галузі машинобудування і може мати широке використання в якості опор обладнання, устаткування різного службового призначення в хімічній, переробній, фармацевтичній промисловості та інше.

Відомий пристрій для навивання профільних пружин, який виконано у вигляді приводу, токарного патрона, заднього центру, оправки, на якій встановлені центральними отворами диски з конічними зовнішніми поверхнями з можливістю осьового переміщення за формою і розмірами аналогічно внутрішній формі гвинтового елемента, а по зовнішньому діаметру у вигляді плавної конічної форми, а з двох кінців на оправці жорстко закріплені циліндричні опори у вигляді втулок, ліва з яких є у жорсткій взаємодії з кінцем циліндричної заготовки, яка жорстко закріплена в токарному патроні (Семинский В.К. и др./ Приспособления и инструменты для токарных работ - К.: Техніка 1977, рис.94).

Основний недолік - обмежені технологічні можливості і мала продуктивність формування різних профільних гвинтових елементів.

Метою корисної моделі є розширення технологічних можливостей і підвищення продуктивності формування різних профілів гвинтових елементів різного поперечного перерізу шляхом виконання цих пристроїв у вигляді приводу, токарного патрона, заднього центру, оправки, на якій встановлені центральними отворами диски з конічними зовнішніми поверхнями з можливістю осьового переміщення за формою і розмірами аналогічно внутрішній формі гвинтового елемента, а по зовнішньому діаметру у вигляді плавної конічної форми, а з двох кінців на оправці жорстко закріплені циліндричні опори у вигляді втулок, ліва з яких є у жорсткій взаємодії з кінцем циліндричної заготовки, яка жорстко закріплена в токарному патроні, причому оправа з дисками є у взаємодії через шпонку, яка жорстко встановлена на оправці

(13) U

(11) 44468

(19) UA



по зовнішньому діаметру по всій її довжині, крім цього зовнішня твірна дисків виконана зовнішньої бочкоподібної або іншої форми з переходом на два кінці зі зменшеними або іншим діаметрами, крім цього в лівій опорі з торця до дисків жорстко встановлено відомої конструкції хомут з внутрішнім діаметром меншим зовнішнього діаметра труби (заготовки) з можливістю регулювання його величини відомим способом, який є у взаємодії з кінцем труби (заготовки), а по зовнішньому діаметру труба (заготовка) є у взаємодії з притискним роликом, по зовнішньому діаметру якого виконана кругова півкругла канавка радіусом рівним зовнішньому радіусу труби (заготовки) з можливістю кругового обертання на осі і осьового переміщення паралельно осі оправки, яка закріплена на кронштейні, який має осьове і радіальне переміщення разом з супортом верстату і який є у взаємодії з копіром верстату відомої конструкції.

Пристрій для виготовлення профільних гвинтових елементів зображено на Фіг.1, Фіг.2 - переріз по А-А на Фіг.1.

Пристрій для виготовлення профільних гвинтових елементів виконано у вигляді оправки 1, на якій встановлені диски 2 з центральними отворами 3 і шпоночним пазом 4 під шпонку 5 з можливістю осьового переміщення. По зовнішньому діаметру диски 2 утворюють бочкоподібну або іншої форми криву 6 з переходом на два кінці з іншими діаметрами 7, а з правого кінця оправка 1 підтиснута заднім центром 8.

Крім цього на оправці 1 з двох кінців жорстко встановлені опорні втулки-ліва 9 і права 10, а до лівої опори 9 жорстко прикріплений хомут 11 відомої конструкції з внутрішнім діаметром 12 меншим зовнішнього діаметра труби 13 (заготовки) з можливістю регулювання його величини. Хомут 11 внутрішнім діаметром 12 жорстко затискує кінець труби (заготовки) 13, а по зовнішньому діаметру труба 13 взаємодіє з притискним роликом 14, по зовнішньому діаметру якого виконана кругова півкругла канавка 15 радіусом рівним зовнішньому діаметру труби (заготовки) 13 з можливістю круго-

вого провертання. Притискний ролик 14 жорстко закріплений на осі 16, яка жорстко закріплена на кронштейні 17, який другим кінцем жорстко закріплена на супорті 18 токарного верстату і який взаємодіє з копіром відомої конструкції (на кресленні не показаний) з можливістю осьового і радіального переміщення.

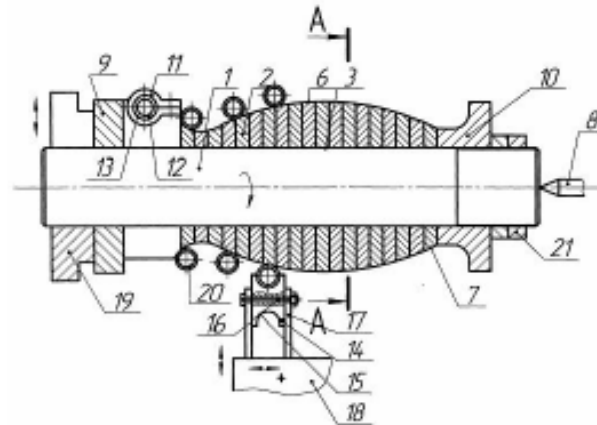
Привід оправки 1 пристрою здійснюється від токарного патрона 19. Робота пристрою здійснюється наступним чином. Оправка 1 лівим кінцем жорстко кріпиться в патрон 19 токарного верстату. Кінець труби (заготовки) 13 кріпиться до хомута 11, а вільний правий кінець оправки 1 підтискають заднім центром 8. Після чого включається привід верстату і оправка 1 з дисками 2 здійснює 1...2 оберти при цьому на диски 2 здійснюється процес навіювання витків 20 труби (заготовки) 13. Після цього верстат зупиняють і до витка труби 13 підводиться притискний ролик 14 з кронштейном 17, які настроюються на певне зусилля притиску і копіювання профілю 6 і заданий крок навіювання через копій або інший відомий пристрій.

Після завершення технологічного процесу навіювання верстат зупиняють, притискний ролик 14 з кронштейном 17 і супортом 18 відводять у вихідне положення, кінець труби 13 звільняють від хомута і відводять задній центр 8, а праву опору 10, знімають з оправки разом з дисками 2, які через проміжок між витками гвинтових елементів 20 витягують їх з середини.

Після завершення цієї операції аналогічним чином продовжують здійснювати наступний технологічний процес, зібравши диски 2 на оправку 1 в певній послідовності.

Форму і розміри гвинтових профільних елементів можна змінювати, змінюючи при цьому профіль дисків 2 і копіювального механізму.

До переваг пристрою, підноситься розширення технологічних можливостей формування різних профільних гвинтових елементів і підвищення продуктивності праці при виконанні технологічних процесів.

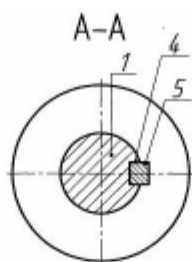


Фіг. 1

5

44468

6



Фиг. 2

---

---

Комп'ютерна верстка О. Рябко

Підписне

Тираж 28 прим.

---

Міністерство освіти і науки України

Державний департамент інтелектуальної власності, вул. Урицького, 45, м. Київ, МСП, 03680, Україна

---

ДП "Український інститут промислової власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ – 42, 01601

УКРАЇНА

UKRAINE



ПАТЕНТ

НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

№ 51906

ПЕРЕНАЛАГОДЖУВАЛЬНИЙ СВЕРДЛИЛЬНИЙ  
КОНДУКТОР

Видано відповідно до Закону України "Про охорону прав на винаходи і корисні моделі".

Зареєстровано в Державному реєстрі патентів України на корисні моделі **10.08.2010**.

Голова Державного департаменту  
інтелектуальної власності

A handwritten signature in blue ink, appearing to read "M.V. Paladiy", is written over the printed name.

М.В. Паладій





УКРАЇНА

(19) UA (11) 51906 (13) U  
(51) МПК (2009)  
B23B 49/00

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ  
І НАУКИ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІ

**ОПИС**  
ДО ПАТЕНТУ  
НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

видається під  
відповідальність  
власника  
патенту

(54) ПЕРЕНАЛАГОДЖУВАЛЬНИЙ СВЕРДЛИЛЬНИЙ КОНДУКТОР

1

(21) u201000091

(22) 11.01.2010

(24) 10.08.2010

(46) 10.08.2010, Бюл.№ 15, 2010 р.

(72) БРОЩАК ІВАН ІВАНОВИЧ, ГАГАЛЮК АНДРІЙ ВАЛЕРІЙОВИЧ, ГУПКА БОГДАН ВАСИЛЬОВИЧ, ЛЯШУК ОЛЕГ ЛЕОНТІЙОВИЧ, ДЯЧУН АНДРІЙ ЄВГЕНОВИЧ, ГЕВКО ІГОР БОГДАНОВИЧ, ГУПКА АНДРІЙ БОГДАНОВИЧ

(73) БРОЩАК ІВАН ІВАНОВИЧ, ГАГАЛЮК АНДРІЙ ВАЛЕРІЙОВИЧ, ГУПКА БОГДАН ВАСИЛЬОВИЧ, ЛЯШУК ОЛЕГ ЛЕОНТІЙОВИЧ, ДЯЧУН АНДРІЙ ЄВГЕНОВИЧ, ГЕВКО ІГОР БОГДАНОВИЧ, ГУПКА АНДРІЙ БОГДАНОВИЧ

(57) Переналагоджувальний свердлильний кондуктор, який виконано у вигляді верхньої плити з ступінчастим циліндричним отвором, в який запресований радіальний підшипник, вісь якого є співвісна з віссю свердла, а зверху торця підшипника і кондукторної втулки встановлена захисна плита, яка жорстко закріплена до кондукторної плити, а на торцевій частині захисної плити по периметру

2

зовнішнього кільця підшипника виконано буртик, яким захисна плита є в контакт з зовнішнім кільцем, який відрізняється тим, що у внутрішнє кільце радіального підшипника зверху запресована змінна кондукторна втулка з буртиком довжиною, меншою ширини підшипника, з можливістю кругового повертання з внутрішнім кільцем підшипника і свердлом, крім цього знизу у зовнішньому кільці підшипника виконана кільцева канавка, яка є у взаємодії зі стопорним кільцем, внутрішній діаметр якої є у взаємодії з зовнішньою кільцевою виточною внутрішнього кільця знизу підшипника, крім цього в зоні встановлення свердла зверху кондукторної плити виконано наскрізний ступінчастий отвір, в який встановлено знімне кільце, яке зафіксовано в наскрізному ступінчастому отворі шпильками, а по периметру внутрішнього кільця підшипника зверху і знизу виконані виточки діаметрами, більшими зовнішнього діаметра внутрішнього кільця мінімальної висоти, з можливістю вільного його повертання.

Корисна модель відноситься до галузі машинобудування і може використання в приводах верстатів.

Відома кондукторна плита свердлильного пристрою виконана у вигляді верхньої плити з ступінчастим циліндричним отвором, в який запресований радіальний підшипник, вісь якого є співвісна з віссю свердла, а зверху торця підшипника і кондукторної втулки встановлена захисна плита, яка жорстко закріплена до кондукторної плити, а на торцевій частині захисної плити по периметру зовнішнього кільця підшипника виконано буртик, яким захисна плита є в контакт з зовнішнім кільцем (Патент 43226, Україна, Гупка Б.В. і інші, Бюл. №10, 2001).

Основний недолік прототипу - нетехнологічність конструкції і не можливість здійснювати переналагоджування для свердління інших діаметрів в заготовках.

Метою корисної моделі є підвищення продуктивності праці шляхом виконання переналагоджувального свердлильного кондуктора у вигляді верхньої плити з ступінчастим циліндричним отвором,

в який запресований радіальний підшипник, вісь якого є співвісна з віссю свердла, а зверху торця підшипника і кондукторної втулки встановлена захисна плита, яка жорстко закріплена до кондукторної плити, а на торцевій частині захисної плити по периметру зовнішнього кільця підшипника виконано буртик, яким захисна плита є в контакт з зовнішнім кільцем, причому у внутрішнє кільце радіального підшипника зверху запресована змінна кондукторна втулка з буртиком довжиною меншою ширини підшипника з можливістю кругового повертання з внутрішнім кільцем підшипника і свердлом, крім цього знизу у зовнішньому кільці підшипника виконана кільцева канавка, яка є у взаємодії зі стопорним кільцем, внутрішній діаметр якої є у взаємодії з зовнішньою кільцевою виточною внутрішнього кільця знизу підшипника, крім цього в зоні встановлення свердла зверху кондукторної плити виконано наскрізний ступінчастий отвір, в який встановлено знімне кільце, яке зафіксовано в наскрізному ступінчастому отворі шпильками, а по периметру внутрішнього кільця підшипника зверху і знизу виконані виточки

(13) U

(11) 51906

(19) UA



діаметрами більшим зовнішнього діаметра внутрішнього кільця мінімальної висоти з можливістю вільного його провертання.

Переналагоджувальний свердлильний кондуктор зображено на Фіг.

Переналагоджувальний свердлильний кондуктор виконано у вигляді верхньої плити 1, по центру якої зверху виконано ступінчастий циліндричний отвір 2, в який запресований радіально упорний підшипник 3, вісь якого співпадає з віссю свердла 4. У внутрішній отвір внутрішнього кільця 5 підшипника запресована змінна втулка 6 з буртом 7 зверху, довжиною меншою ширини підшипника, з можливістю кругового провертання з внутрішнім кільцем підшипника 3 і свердлом 4. Знизу у зовнішньому кільці підшипника виконана кільцева канавка 8, яка є у взаємодії зі стопорним кільцем 9, внутрішній діаметр якої є у взаємодії з зовнішньою кільцевою виточкою 10 внутрішнього кільця знизу підшипника 3.

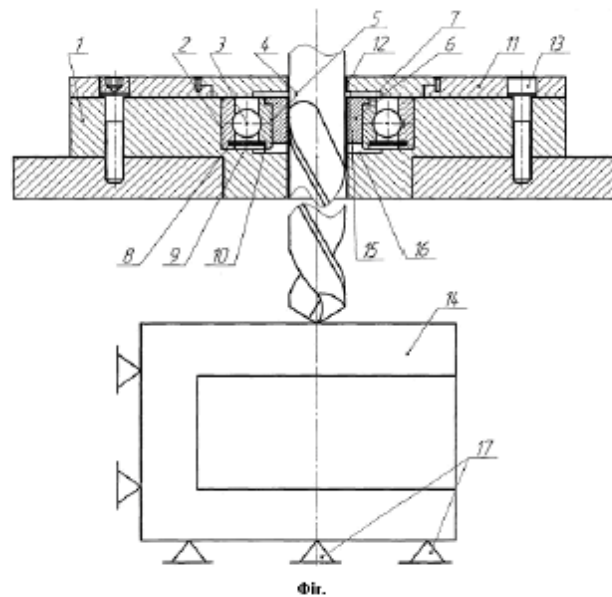
В зоні кондукторної плити 1 встановлено кришку 11 з центральним отвором 12, в якій встановлено свердло 4 для вільного його переміщення і яка жорстко закріплена до кондукторної плити за допомогою гвинтів 13. Знизу під кондукторною плитою 1, напроти свердла 4 жорстко встановлена заготовка 14. Для вільного провертання внутрішнього кільця 6 підшипника 3 по його периметру зверху і знизу виконані виточки 15 зверху і 16 знизу з мінімальною висотою, а знизу які забезпечують можливість вільного провертання внутрішнього кільця підшипника 6 зі змінною втулкою 7 і свердлом 4.

Робота переналагоджувального свердлильного кондуктора для свердління отворів здійснюється наступним чином. Заготовка 14 вставляється в пристрій (на кресленні зображено тільки кондукторну плиту), до кондукторної плити в зборі на опори 17, які зображено схематично, яке жорстко закріплено у патроні свердлильного верстата (на кресленні не показані). Свердло вводиться в отвір 12 кришки 11 і змінної втулки 4, підшипника 3 до оброблюваної деталі 14. В процесі обертання свердло разом з внутрішнім кільцем підшипника 3 обертається, що значно зменшує силу тертя свердла по кондукторній втулці і підвищує надійність і довговічність як самої втулки так і свердла.

Для забезпечення змащення в зону кульок підводиться мастило через маслянку, яка на кресленні не позначена.

Заміна змінної втулки 7 здійснюється наступним чином. Знімається кришка 11 за допомогою відомого знімача після чого вона випресовується і на її місце запресовується змінна втулка із заданим внутрішнім діаметром і після цього кришка 11 прикріплюється до кондукторної плити 1.

До переваг переналагоджувального свердлильного кондуктора відноситься - простота конструкції, можливість переналадки на свердління і інших діаметрів в заготовках, зменшення сил тертя свердла з кондукторною втулкою через підшипник, відповідно збільшення точності оброблювальних отворів і відповідно зменшення енерговитрат і зменшення спрацювання свердла і кондукторної втулки.



Фіг.







УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **89727** (13) **U**

(51) МПК (2014.01)

**B23B 29/00****B23B 35/00**

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІ  
УКРАЇНИ

**(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ**

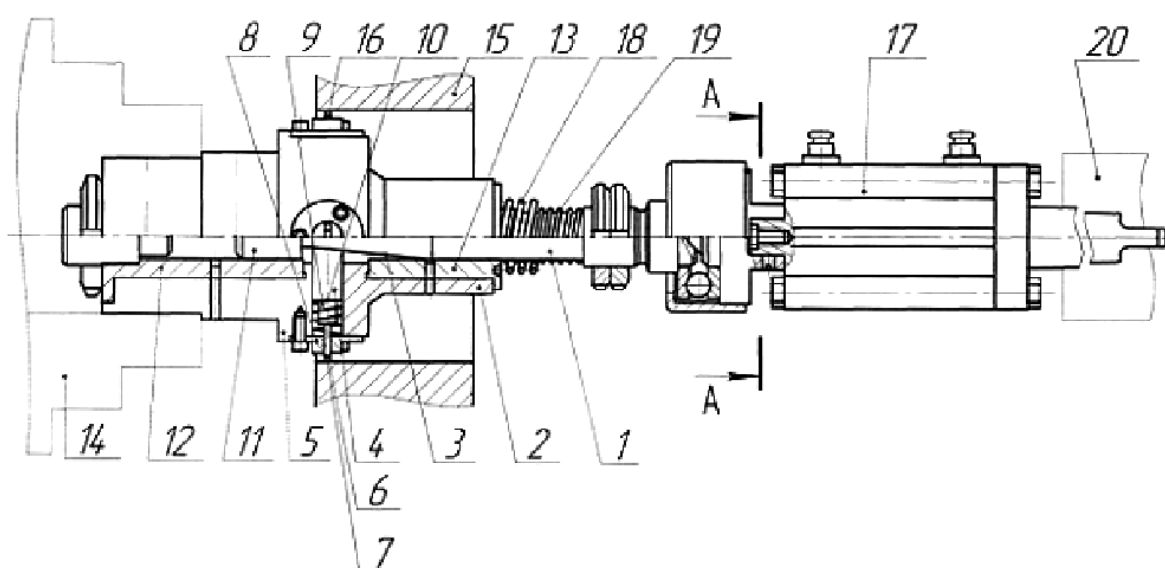
<p>(21) Номер заявки: <b>u 2013 14601</b></p> <p>(22) Дата подання заявки: <b>13.12.2013</b></p> <p>(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: <b>25.04.2014</b></p> <p>(46) Публікація відомостей про видачу патенту: <b>25.04.2014, Бюл.№ 8</b></p>	<p>(72) Винахідник(и): <b>Гевко Богдан Матвійович (UA), Гупка Андрій Богданович (UA), Босюк Павло Володимирович (UA), Гевко Ігор Богданович (UA), Білик Стефанія Григорівна (UA)</b></p> <p>(73) Власник(и): <b>Гевко Богдан Матвійович, вул. І. Сірка, 10/2, м. Тернопіль, 46020 (UA), Гупка Андрій Богданович, вул. Сімовича, 11-а, м. Тернопіль, 46020 (UA), Босюк Павло Володимирович, просп. Злуки, 5/91, м. Тернопіль, 46000 (UA), Гевко Ігор Богданович, вул. І. Сірка, 10/2, м. Тернопіль, 46020 (UA), Білик Стефанія Григорівна, вул. Крушельницької, 17а/60, м. Бережани, Тернопільська обл., 47500 (UA)</b></p>
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

**(54) РОЗТОЧУВАЛЬНА ГОЛОВКА****(57) Реферат:**

Розточувальна головка виконана у вигляді рухомого штока з можливістю осьового і кругового переміщення в циліндричному корпусі, а кінцева конічна частина рухомого штока є у взаємодії з оправками радіальних різців, які розміщені в циліндричному корпусі рівномірно по колу. За конічною частиною рухомого штока виконана циліндрична напрямна, яка є у взаємодії з отвором лівої втулки тертя з можливістю осьового переміщення, яка жорстко встановлена на лівому кінці циліндричного корпусу. Зовнішній діаметр циліндричного виступу циліндричного корпусу є у взаємодії з наскрізним отвором кришки з можливістю радіального переміщення. На оправках радіальних різців зі сторони ріжучих елементів виконані циліндричні виступи, які є у взаємодії з внутрішніми діаметрами відтискових пружин. Лівий кінець циліндричного корпусу жорстко закріплений в патроні токарного верстата.

**UA 89727 U**

UA 89727 U



Фиг. 1



## UA 89727 U

Корисна модель належить до машинобудування і може мати використання в автомобільній, тракторній та інших галузях машинобудування для виготовлення блоків циліндрів та інших корпусних деталей.

5 Відома розточувальна головка, яка виконана у вигляді рухомого штока з можливістю осьового і кругового переміщення в циліндричному корпусі, а кінцева конічна частина рухомого штока с у взаємодії з оправками радіальних різців, які розміщені в циліндричному корпусі рівномірно по колу, базуючих і кріпильних елементів. (Гевко В.М. та інші. Технологічне забезпечення оброблення спеціальних внутрішніх поверхонь. Тернопіль, 2007, ТДТУ, рис. 4.16 - прототип).

10 Основні недоліки прототипу - нетехнологічність конструкції та велике зусилля при розточуванні.

В основу корисної моделі поставлена задача зменшення зусилля розточування і удосконалення конструкції.

15 Поставлена задача вирішується шляхом виконання розточувальної головки у вигляді рухомого штока з можливістю осьового і кругового переміщення в циліндричному корпусі, а кінцева конічна частина рухомого штока є у взаємодії з оправками радіальних різців, які розміщені в циліндричному корпусі рівномірно по колу, базуючих і кріпильних елементів, причому за конічною частиною рухомого штока виконана циліндрична напрямна, яка є у взаємодії з отвором лівої втулки тертя з можливістю осьового переміщення, яка жорстко встановлена на лівому кінці циліндричного корпусу, зовнішній діаметр циліндричного виступу 20 циліндричного корпусу є у взаємодії з наскрізним отвором кришки, ріжучі кінці є у взаємодії з наскрізними отворами кришки з можливістю радіального переміщення, на оправках радіальних різців зі сторони ріжучих елементів виконані циліндричні виступи, які є у взаємодії з внутрішніми діаметрами відтискних пружин, а лівий кінець циліндричного корпусу жорстко закріплений в патроні токарного верстата.

Розточувальна головка зображена на кресленнях, де:

на фіг. 1 зображений загальний вигляд головки;

на фіг.2 - переріз А-А на фіг. 1.

30 Розточувальна головка виконана у вигляді рухомого штока 1 з можливістю осьового і кругового переміщення в циліндричному корпусі 2, а кінцева конічна частина 3 рухомого штока 1 є у взаємодії з радіальними різцями 4. Зовнішній діаметр циліндричного виступу 5 циліндричного корпусу 2 є у взаємодії з наскрізним отвором 7 кришки 8, а радіальні різці 4 розміщені в циліндричному виступі 5 циліндричного корпусу 2 рівномірно по колу з ріжучими кінцями 6 і є у взаємодії з наскрізними отворами 7 кришки 8 з можливістю радіального переміщення. На оправках радіальних різців 4 зі сторони ріжучих кінців 6 виконані циліндричні виступи 9, які є у взаємодії з внутрішніми діаметрами відтискних пружин 10. З лівого кінця за конічною частиною 3 рухомого штока 1 виконана циліндрична напрямна 11, яка є у взаємодії з отвором лівої втулки тертя 12 з можливістю осьового переміщення, яка жорстко встановлена на лівому кінці циліндричного корпусу 2. Крім цього, права частина рухомого штока 1 є у взаємодії з правою втулкою 13 тертя, яка жорстко встановлена у правому кінці циліндричного корпусу 1. Лівий кінець циліндричного корпусу 2 жорстко закріплений в патроні 14 токарного верстата.

45 Заготовку 15, в отворі якої необхідно розточити кільцеву канавку 16, розміщують в пристрої на напрямних токарного верстата (на кресленні не показано), а розточувальну головку з правого кінця жорстко закріплюють відомим способом у пневмоциліндрі 17, а між торцем циліндричного корпусу 2 і пневмоциліндром встановлено дві пружини 18 і 19 стиснення для покращення осьового переміщення розточувальної головки.

Пневмоциліндр 17 жорстко встановлено в корпусі задньої бабки 20 верстата з можливістю осьового переміщення.

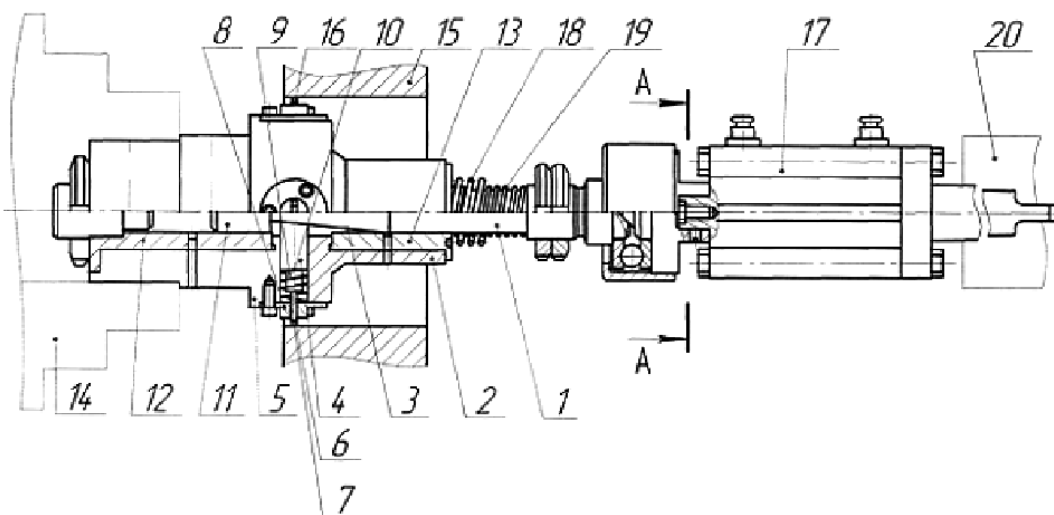
50 Робота розточувальної головки здійснюється наступним чином. Заготовку 15, в якій необхідно розточити кільцеву канавку 16, встановлюють в пристрій токарного верстата відомої конструкції на напрямні між патронами 14 токарного верстата і пневмоциліндром 17. Заготовку 15 встановлюють в пристрої на верстаті таким чином, щоб ріжучі кінці 6 розточувальних різців 4 знаходилися напроти кільцевих канавок 16, які необхідно розточувати. Місце їх розміщення здійснюється пневмоциліндром 17 разом з задньою бабкою 20 верстата. Після проведення підготовчих операцій включають верстат і за допомогою пневмоциліндра 17 рухомий шток 1 переміщують вліво. При цьому він конічною частиною 3 діє на конусні торці радіальних різців 4 і здійснює процес розточування кільцевої канавки 16. Після закінчення технологічного процесу розточування кільцевої канавки 16 задня бабка 20 разом з пневмоциліндром 17 переміщається вправо, при цьому радіальні різці 4 під дією відтискних пружин 10 відходять у вихідне положення. Готову деталь знімають з верстата, а на її місце встановлюють нову.

UA 89727 U

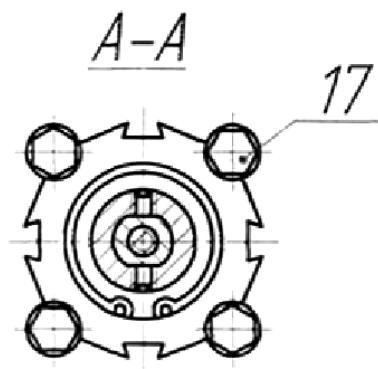
До переваг пристрою належить удосконалення конструкції і підвищення продуктивності праці за рахунок зручності головки в роботі.

ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

- 5 Розточувальна головка, що виконана у вигляді рухомого штока з можливістю осьового і  
 кругового переміщення в циліндричному корпусі, а кінцева конічна частина рухомого штока є у  
 взаємодії з оправками радіальних різців, які розміщені в циліндричному корпусі рівномірно по  
 колу, базуючих і кріпильних елементів, яка **відрізняється** тим, що за конічною частиною  
 10 рухомого штока виконана циліндрична напрямна, яка є у взаємодії з отвором лівої втулки тертя  
 з можливістю осьового переміщення, яка жорстко встановлена на лівому кінці циліндричного  
 корпусу, зовнішній діаметр циліндричного виступу циліндричного корпусу є у взаємодії з  
 наскрізним отвором кришки з можливістю радіального переміщення, на оправках радіальних  
 різців зі сторони ріжучих елементів виконані циліндричні виступи, які є у взаємодії з внутрішніми  
 15 діаметрами відтискових пружин, а лівий кінець циліндричного корпусу жорстко закріплений в  
 патроні токарного верстата.



Фіг. 1



Фіг. 2

Комп'ютерна верстка М. Мацело

Державна служба інтелектуальної власності України, вул. Урицького, 45, м. Київ, МСП, 03680, Україна

ДП "Український інститут промислової власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ – 42, 01601





ДЕРЖАВНА СЛУЖБА  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІ  
УКРАЇНИ

УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **95391** (13) **U**  
(51) МПК  
**A01D 25/02** (2006.01)

## (12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

<p>(21) Номер заявки: <b>u 2014 06788</b></p> <p>(22) Дата подання заявки: <b>16.06.2014</b></p> <p>(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: <b>25.12.2014</b></p> <p>(46) Публікація відомостей про видачу патенту: <b>25.12.2014, Бюл.№ 24</b></p>	<p>(72) Винахідник(и): <b>Гевко Богдан Матвійович (UA), Гупка Андрій Богданович (UA), Гупка Богдан Васильович (UA), Гудь Валерій Зиновійович (UA), Дячун Андрій Євгенович (UA)</b></p> <p>(73) Власник(и): <b>Гевко Богдан Матвійович, вул. І. Сірка, 10/2, м. Тернопіль, 46020 (UA), Гупка Андрій Богданович, вул. Сімовича, 11-а, м. Тернопіль, 46020 (UA), Гупка Богдан Васильович, вул. Сімовича, 11-а, м. Тернопіль, 46020 (UA), Гудь Валерій Зиновійович, вул. Тарнавського, 7-а, м. Тернопіль, 46020 (UA), Дячун Андрій Євгенович, вул. Сонячна, 3, с. Нижчі Луб'янки, Збаразький р-н, Тернопільська обл., 47361 (UA)</b></p>
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

## (54) ДИСКОВИЙ КОПАЧ КОРЕНЕПЛОДІВ

### (57) Реферат:

Дисковий копач коренеплодів виконано у вигляді рами, на якій встановлено на криволінійній осі два диски під кутом один до одного з можливістю кругового повертання дисків, один з яких кінематично з'єднаний з редуктором а другий з ґрунтом, механізму регулювання глибини їх заглиблення в ґрунті, установочних і кріпильних елементів. У верхній частині копача між дисками на рамі жорстко встановлена вертикальна стійка, до якої жорстко закріплено поводок з горизонтальною віссю обертання, в якому з двох торців виконані приводні елементи, які жорстко з'єднані з корпусом повідка. На торцях приводних елементів жорстко встановлені сферичні елементи, які розміщені рівномірно по колу і які є у взаємодії з спеціальними зірочками шнекових очисників, які жорстко закріплені з шнековими валами шнекових очисників. У правому торці повідка на зовнішній циліндричній поверхні рівномірно по колу зовнішнього діаметру встановлені сферичні приводні елементи, аналогічно торцевим, які є у взаємодії з спеціальною зірочкою, яка жорстко встановлена на правій стороні криволінійної осі і кінематично зв'язана з приводом редуктора через стакан, який обертається, які є у взаємодії з внутрішніми викопуючими поверхнями дисків. На зовнішньому діаметрі вала жорстко закріплені шнекові очисники, які є у взаємодії з робочими поверхнями викопуючих дисків для їх очищення.

UA 95391 U



UA 95391 U

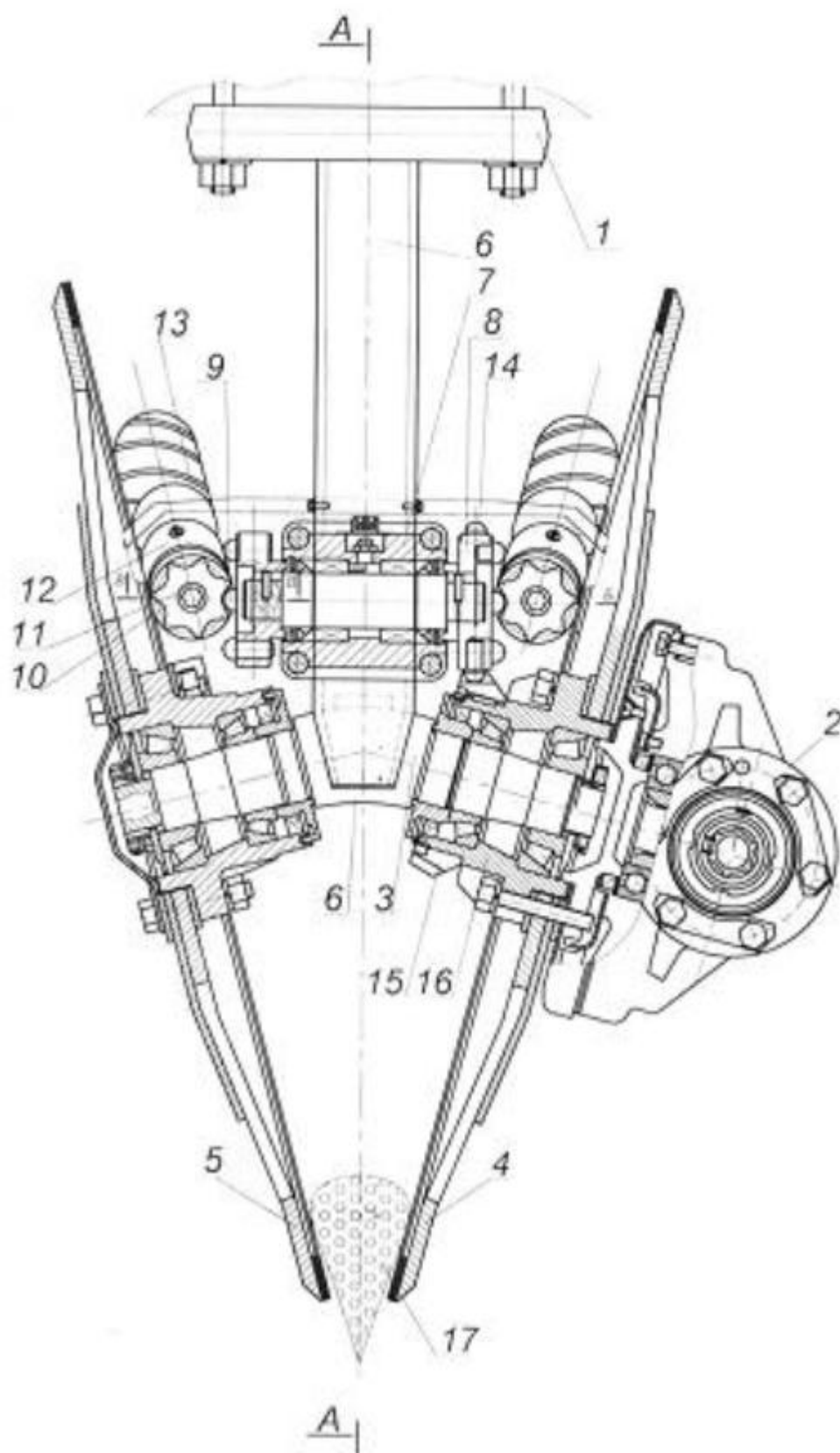


Fig. 1

Корисна модель належить до галузі сільського машинобудування і може мати використання в бурякозбиральних комбайнах.

Відомий дисковий копач коренеплодів, який виконано у вигляді рами, на якій встановлено криволінійна вісь з двома дисками, встановленими під кутом один до одного з можливістю кругового повертання дисків, один з їх кінематично з'єднаний з редуктором, а другий з 5 ґрунтом, механізму регулювання глибини їх заглиблення в ґрунт, установочних і кріпильних елементів (Погорельий Л.В. и др. Свеклоуборочные машины. Конструирование и расчет. Изд. "Техника", 1983. - рис. 39а).

Основний недолік найближчого аналога - відсутність механізму очищення дисків від забруднення, які спричиняють великі енергетичні затрати і низьку якість очищення коренеплодів.

Задачею корисною моделі є очищення викопуючих дисків від забруднення, зменшення енерговитрат роботи механізму і підвищення якості очищення коренеплодів.

Поставлена задача вирішується шляхом виконання дискового копача коренеплодів у вигляді рами, на якій встановлено на криволінійній осі два диска під кутом один до одного з можливістю кругового повертання дисків, один з яких кінематично з'єднаний з редуктором, а другий з 15 ґрунтом, механізму регулювання величини їх заглиблення в ґрунт, установочних і кріпильних елементів, причому у верхній частині копача між дисками на рамі жорстко встановлена вертикальна стійка, до якої жорстко закріплено поводок з горизонтальною віссю обертання, в якому з двох торців виконанні приводні елементи, які жорстко з'єднанні з корпусом повідка, в 20 якому, згідно з корисною моделлю, на торцях приводних елементів жорстко встановленні сферичні елементи, які розміщені рівномірно по колу і які є у взаємодії з спеціальними зірочками шнекових очисників, які жорстко закріплені з шнековими валами шнекових очисників, крім цього у правому торці повідка на зовнішній циліндричній поверхні рівномірно по колу зовнішнього діаметру встановленні сферичні приводні елементи, аналогічно торцевим, які є у 25 взаємодії з спеціальною зірочкою, яка жорстко встановлена на правій стороні криволінійної осі і кінематично зв'язана з приводом редуктора через стакан, який обертається, які є у взаємодії з внутрішніми викопуючими поверхнями дисків, на зовнішньому діаметрі вала жорстко закріплені шнекові очисники, які є у взаємодії з робочими поверхнями викопуючих дисків для їх очищення.

Дисковий копач коренеплодів зображено на кресленнях: фіг. 1, фіг. 2 - розріз по А-А на фіг. 30 1, фіг. 3 - вигляд по Б-Б на фіг. 1 і фіг. 4 - розріз по В-В на фіг. 1

Дисковий копач коренеплодів виконано у вигляді рами 1, на якій встановлено вузли і деталі копача, це редуктор 2, криволінійна вісь 3, під кутом один до одного, на якій справа встановлено правий викопуючий диск 4, а зліва лівий диск 5. Ці диски встановленні на підшипниках кочення. 35 Криволінійна вісь 3 жорстко встановлена на вертикальній стійці 6 відомим способом, яка розміщена у верхній частині копача між дисками 4 і 5. Зверху криволінійної осі 3 на вертикальній стійці жорстко закріплено колодку 7 з горизонтальною віссю обертання. З двох сторін колодки встановленні повідки 8, на торцевих поверхнях яких рівномірно по колу встановленні сферичні приводні елементи 9 і які є у взаємодії з спеціальними зірочками 10, які жорстко встановленні на шнекових валах 11 в корпусах 12. На валах 11 жорстко закріпленні шнекові очисники 13 викопуючих дисків 4 і 5 коренеплодів для їх очищення від ґрунту. Корпуси 12 шнекових очисників жорстко закріпленні відомим способом до вертикальної стійки 6. Крім цього у правому торці колодки 7 рівномірно по колу зовнішнього діаметра жорстко закріпленні сферичні приводні елементи 14, аналогічні сферичним елементам, які встановленні на торці повідка 8.

Шнекові очисники 13 є у взаємодії з внутрішніми робочими поверхнями викопуючих дисків 4 і 5, а на правій стороні криволінійної осі 3 жорстко встановлена спеціальна зірочка 15, яка кінематично зв'язана з приводом редуктора через стакан 16, а її зуби є у взаємодії зі сферичними елементами 14.

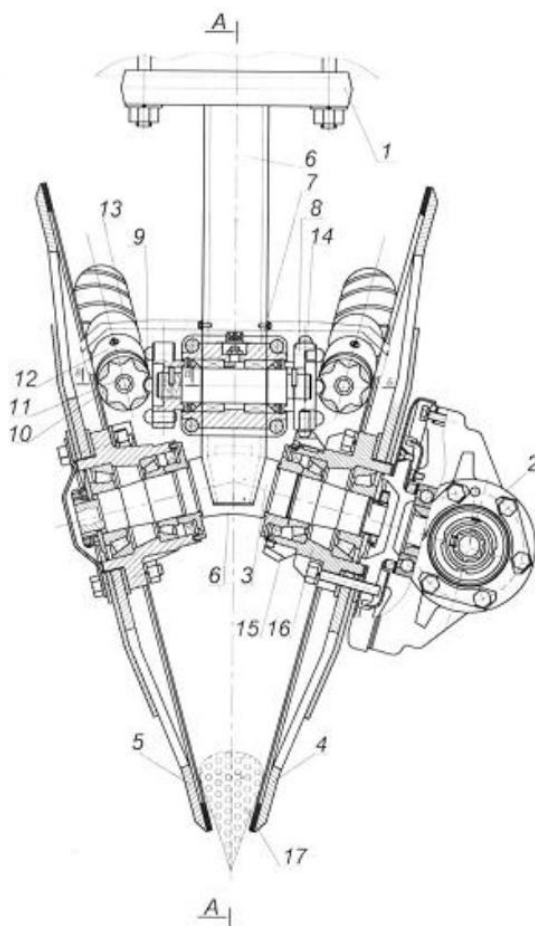
Робота дискового копача коренеплодів здійснюється наступним чином. Дискові копачі 50 встановлюються на раму 1 коренезбиральної машини в необхідній кількості. Редуктор 2 під'єднується до приводів машини, і до лівого повідка 8 через сферичні елементи 14, заїжджаючи в міжряддя, диски копачів регулюються на відповідну величину зазору між ними, наприклад 36 мм, і опускають на необхідну глибину. Коренеплоди цукрових буряків 17 55 попадають між дисками 4 і 5, повертаються і вибираються з ґрунту, піднімаються вгору, переносять їх на транспортер (на кресленні не показано), а диски з забрудненими поверхнями прокручуються і підходять до шнекових очисників 3, де вони ними очищаються і ґрунт повертається на поле. При роботі дискового копача обертаний рух передається від редуктора 2 на стакан 16, спеціальну зірочку 15, яка приводить в рух поводок 8 і шнекові вали 11 через сферичні елементи 14 і 9 і на шнекові очисники 13.

UA 95391 U

До переваг дискового копача відноситься можливість очищення викопуючих дисків від забруднення, зменшення енерговитрат роботи машини і підвищення якості очищення.

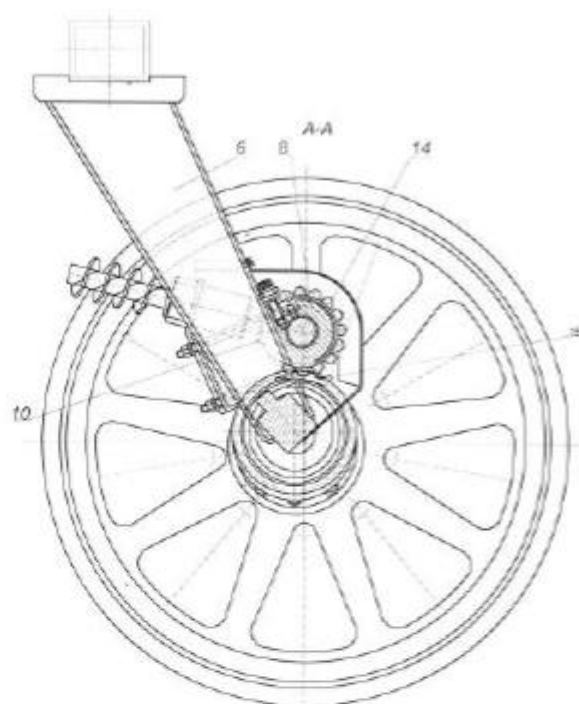
#### ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

- 5  
 10  
 15  
 20
- Дисковий копач коренеплодів, який виконано у вигляді рами, на якій встановлено на криволінійній осі два диски під кутом один до одного з можливістю кругового провертання дисків, один з яких кінематично з'єднаний з редуктором, а другий - з ґрунтом, механізму регулювання глибини їх заглиблення в ґрунті, установочних і кріпильних елементів, який **відрізняється** тим, що у верхній частині копача між дисками на рамі жорстко встановлена вертикальна стійка, до якої жорстко закріплено поводок з горизонтальною віссю обертання, в якому з двох торців виконані приводні елементи, які жорстко з'єднані з корпусом повідка, причому на торцях приводних елементів жорстко встановлені сферичні елементи, які розміщені рівномірно по колу і які є у взаємодії з спеціальними зірочками шнекових очисників, які жорстко закріплені з шнековими валами шнекових очисників, крім цього у правому торці повідка на зовнішній циліндричній поверхні рівномірно по колу зовнішнього діаметра встановлені сферичні приводні елементи, аналогічно торцевим, які є у взаємодії з спеціальною зірочкою, яка жорстко встановлена на правій стороні криволінійної осі і кінематично зв'язана з приводом редуктора через стакан, який обертається, які є у взаємодії з внутрішніми викопуючими поверхнями дисків, на зовнішньому діаметрі вала жорстко закріплені шнекові очисники, які є у взаємодії з робочими поверхнями викопуючих дисків для їх очищення.

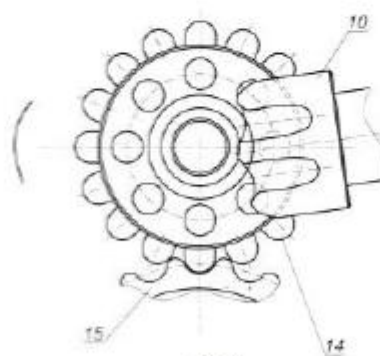


Фіг. 1

UA 95391 U



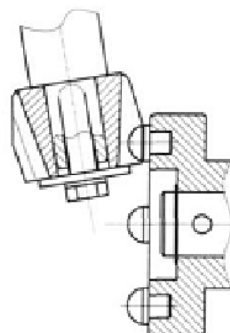
Фиг. 2



Фиг. 3



UA 95391 U



Фіг. 4



ДЕРЖАВНА СЛУЖБА  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІ  
УКРАЇНИ

УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **98904** (13) **U**  
(51) МПК  
**B21D 11/06** (2006.01)

## (12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

<p>(21) Номер заявки: <b>u 2014 12904</b></p> <p>(22) Дата подання заявки: <b>02.12.2014</b></p> <p>(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: <b>12.05.2015</b></p> <p>(46) Публікація відомостей про видачу патенту: <b>12.05.2015, Бюл.№ 9</b></p>	<p>(72) Винахідник(и): <b>Дячун Андрій Євгенович (UA), Ляшук Олег Леонтійович (UA), Гевко Ігор Богданович (UA), Кучвара Іван Миколайович (UA), Гупка Андрій Богданович (UA)</b></p> <p>(73) Власник(и): <b>Дячун Андрій Євгенович, вул. Сонячна, 3, с. Нижчі Луб'янки, Збаразький р-н, Тернопільська обл., 47361 (UA), Ляшук Олег Леонтійович, вул. Б. Лепкого, 6/127, м. Тернопіль, 46000 (UA), Гевко Ігор Богданович, вул. І. Сірка, 10/2, м. Тернопіль, 46000 (UA), Кучвара Іван Миколайович, вул. Канадська, 6, м. Тернопіль, 46000 (UA), Гупка Андрій Богданович, вул. Сімовича, 11-а, м. Тернопіль, 46000 (UA)</b></p>
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

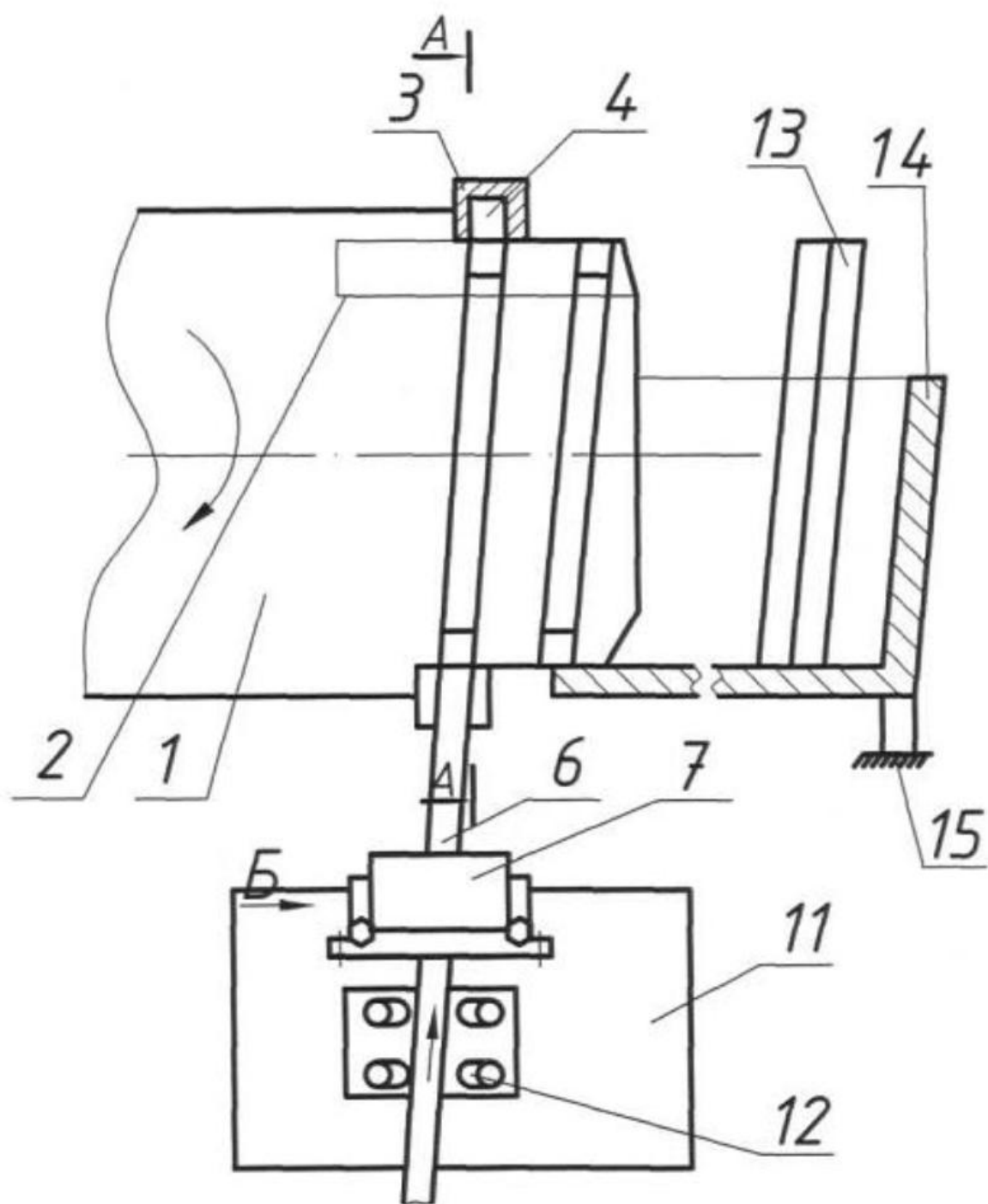
## (54) ПРИСТРІЙ ДЛЯ НАВИВАННЯ ГВИНТОВИХ УЩІЛЬНЮЮЧИХ І СТОПОРНИХ ЕЛЕМЕНТІВ МЕХАНІЗМІВ

### (57) Реферат:

Пристрій для навивання гвинтових ущільнюючих і стопорних елементів механізмів машин виконано як циліндричну оправку з приводом обертання із шпонковим пазом, який є у взаємодії з шпонковою втулкою з можливістю осьового переміщення з пазом для закріплення кінця заготовки, механізму направлення стрічкової заготовки в зону формування, механізму притиску заготовки. На кінці циліндричної оправки нарізано два гвинтові витки з внутрішнім діаметром рівним внутрішньому діаметру гвинтової заготовки з врахуванням її відпружинення, а у шпонковій втулці в зоні подачі стрічкової заготовки виконано шпонковий виступ, який є у взаємодії з шпонковим пазом оправки з можливістю осьового переміщення, наскрізний прямокутний паз, який є у взаємодії з кінець стрічкової заготовки з можливістю відносного переміщення, крім цього шліцьова втулка охоплює оправку, а в зоні заходу стрічкової заготовки встановлено роликовий механізм її притиску до циліндричної оправки відомим способом з можливістю регулювання кута подачі стрічкової заготовки в зону формоутворення, який виконано у вигляді коливного коромисла, правий кінець якого встановлено на вісь з можливістю кутового повертання і зверху коливне коромисло жорстко закріплено до різцетримача гвинтом, крім цього в кінці оправки жорстко встановлено жолоб з внутрішнім діаметром більшим зовнішнього діаметра заготовки, який жорстко закріплений до станини верстата.

UA 98904 U

UA 98904 U



Фиг. 1

Корисна модель належить до галузі машинобудування і може мати використання для виготовлення гвинтових ущільнюючих елементів механічних, гідравлічних і пневматичних систем, стопорних елементів вузлів осьового стопоріння, як двомірних точок і короткомірних заготовок.

5 Відомий пристрій для навивання полоси в спіраль на ребро, який виконано у вигляді циліндричної оправки з приводом обертання із шпонковим пазом, який є у взаємодії з шпонковою втулкою з можливістю осьового відносного переміщення із прямокутним пазом, для закріплення кінця заготовки, механізму направлення стрічки заготовки в зону формування і механізму притиску заготовки [АС № 1225642 СРСР "Устройство для навивки полосы в спираль на ребро" Гевко Б.М. и др... Бюл. № 15.1986].

Основний недолік - обмежені технологічні можливості і мала продуктивність праці.

Задачею корисної моделі є розширення технологічних можливостей і підвищення продуктивності праці шляхом виконання пристрою для навивання гвинтових ущільнюючих і стопорних елементів, механізмів машин, який виконано у вигляді циліндричної оправки з приводом обертання із шпонковим пазом, який є у взаємодії з шпонковою втулкою з можливістю осьового переміщення з пазом для закріплення кінця заготовки, механізму направлення стрічкової заготовки в зону формування, механізму притиску заготовки, причому на кінці циліндричної оправки нарізано два гвинтових витки з внутрішнім діаметром, рівним внутрішньому діаметру гвинтової заготовки з врахуванням її відпружинення, а у шпонковій втулці зовні виконано наскрізний прямокутний паз, яким є у взаємодії з кінцем стрічкової заготовки з можливістю відносного переміщення, крім цього зі сторони подачі стрічкової заготовки шліцьова втулка є зрізаною і вона охоплює оправку тільки більше половини її діаметра, а перемичка прямокутного отвору, зі сторони навивання заготовки є меншою кроку гвинтової заготовки, а в зоні заходу стрічкової заготовки встановлено роликовий механізм її притиску до циліндричної оправки відомим способом з можливістю регулювання кута подачі стрічкової заготовки в зону формування, який виконано у вигляді коливного коромисла, правий кінець якого встановлено на вісь з можливістю кутового повертання і зверху коливне коромисло жорстко закріплено до різцетримача гвинтом.

30 Пристрій для навивання гвинтових елементів ущільнюючих і стопорних елементів механізмів зображено на фіг. 1, фіг. 2 - переріз по А-А на фіг. 1 і фіг. 3 - вигляд по Б на фіг. 1.

Пристрій для навивання гвинтових елементів ущільнюючих і стопорних елементів механізмів виконано у вигляді циліндричної оправки 1 з приводом обертання (на кресленні не показано) і з шпонковим пазом 2, який є у взаємодії з шпонковою втулкою 3 і шпонковим виступом 4 шпонкової втулки 3, які виконані заодно. Крім цього у шпонковій втулці 3 поза зоною виступу 4 виконано прямокутний паз 5, останній є у взаємодії з кінцем стрічкової заготовки 6 з можливістю взаємного переміщення.

40 Циліндрична оправка 1 обертається з можливістю крокового осьового переміщення рівного ширині стрічкової заготовки 6 або більшим за допомогою коробки подач верстату. В зоні заходу стрічкової заготовки встановлено роликовий механізм притиску у вигляді ролика 7 до циліндричної оправки 1, який виконано у вигляді коливного коромисла 8, правий кінець якого встановлено на вісь 9 з можливістю кутового повертання. Зверху коливне коромисло 8 жорстко закріплено гвинтом 10 до різцетримача 11.

Для регулювання кута встановлення подачі механізму стрічкової заготовки 6 до циліндричної оправки 1 виконано пази 12.

45 При навиванні довгомірних гвинтових заготовок 13 в кінці оправки 1 жорстко встановлено жолоб 14 внутрішнім діаметром більшим зовнішнього діаметра заготовки, який встановлено на станині верстату 15 для її розміщення.

50 Робота пристрою здійснюється наступним чином. В прямокутний паз 5 шпонкової втулки 3 встановлюється кінець стрічкової заготовки 6, яка на другому кінці циліндричної оправки притискується до неї роликом 7 з виставленням відповідного кута нахилу стрічкової заготовки до осі оправки 1 пазами 12, а величину зусилля притиску стрічкової заготовки 6 до оправки 1 регулюється за допомогою гвинта 10. Після закінчення підготовчих робіт включають верстат і здійснюють навивання коротко мірних або довгомірних гвинтових елементів. При навиванні 2...3 витків шпонкова втулка 3 з шпонковим виступом 4 виходить із шпон очного паза 2, зупиняють верстат, знімають шпонкову втулку і в разі потреби продовжують навивання двомірних заготовок без шпонкової втулки. При цьому навивні заготовки 13 розміщуються у жолобі 14.

До переваг пристрою відноситься розширення технологічних можливостей і підвищення продуктивності праці.

## ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

- 5 Пристрій для навивання гвинтових ущільнюючих і стопорних елементів механізмів машин, який виконано у вигляді циліндричної оправки з приводом обертання із шпонковим пазом, який є у взаємодії з шпонковою втулкою з можливістю осьового переміщення з пазом для закріплення кінця заготовки, механізму направлення стрічкової заготовки в зону формування, механізму притиску заготовки, який **відрізняється** тим, що на кінці циліндричної оправки нарізано два
- 10 гвинтові витки з внутрішнім діаметром, рівним внутрішньому діаметру гвинтової заготовки з врахуванням її відпружинення, а у шпонковій втулці в зоні подачі стрічкової заготовки виконано шпонковий виступ, який є у взаємодії з шпонковим пазом оправки з можливістю осьового переміщення, наскрізний прямокутний паз, який є у взаємодії з кінцем стрічкової заготовки з
- 15 можливістю відносного переміщення, крім цього шліцьова втулка охоплює оправку, а в зоні заходу стрічкової заготовки встановлено роликівий механізм її притиску до циліндричної оправки відомим способом з можливістю регулювання кута подачі стрічкової заготовки в зону формоутворення, який виконано у вигляді коливного коромисла, правий кінець якого встановлено на вісь з можливістю кутового повертання і зверху коливне коромисло жорстко закріплено до різцетримача гвинтом, крім цього в кінці оправки жорстко встановлено жолоб з
- 20 внутрішнім діаметром, більшим зовнішнього діаметра заготовки, який жорстко закріплений до станини верстата.





















## ДОДАТОК А2

Таблиця 1

Фізико-механічні властивості матеріалів використуваних у дослідженнях

Назва матеріалу	Марка матеріалу	Стан матеріалу	Границя міцності при зрізі $\tau_{cp}$ В $\text{кГ/мм}^2$	$\sigma_B$ в $\text{кГ/мм}^2$	$\delta$ в %
Сталь вуглецева гарячокатана звичайної якості	Ст.0	Невідпалена	26-38	32-40	>18
	Ст.3	Невідпалена	31-38	38-47	22-24
	Ст.5	Невідпалена	40-50	50-62	15-17
Сталь якісна конструкційна	08кп	Відпалена	24-33	28-38	26-30
	10	Відпалена	24-36	28-42	23-27
	15	Відпалена	30-44	35-50	22-24
	20	Відпалена	30-44	35-50	22-24
	45	Відпалена	45-60	52-70	15-17
	60	Відпалена	41-64	45-75	10-12
Сталь кислотостіка	1Х18Н9Т	Термооброблена м'яка	43	54	40
Дюралюмін	Д16М	Відпалений	15	21	12
Латунь м'яка	Л62	М'яка	26	30	40
Мідь м'яка	М2	М'яка	18	20	30

## Хімічний склад використовуваних матеріалів

Марка матеріал у	C, %		Si, %		Mn, %				
Ст.0	<=0,23		-		-				
Ст.3	0,14-0,22		0,12-0,30		0,40-0,65				
Ст.5	0,28-0,37		0,15-0,35		0,50-0,80				
08кп	0,05-0,11		<=0,03		0,25-0,50				
10	0,07-0,14		0,17-0,37		0,35-0,65				
15	0,12-0,19		0,17-0,37		0,35-0,65				
20	0,17-0,24		0,17-0,37		0,35-0,65				
45	0,42-0,50		0,17-0,37		0,50-0,80				
60	0,57-0,65		0,17-0,37		0,50-0,80				
	Cu, %	Mg, %	Mn, %	Fe, %	Si, %	Ni, %	Zn, %	Ti, %	
Д16М	3,8-4,9	1,2-1,8	0,3-0,9	<=0,5	<=0,5	<=0,1	<=0,3	<=0,1	
	Cu, %	Zn, %	Pb, %	Fe, %	Sb, %	Bi, %	P, %		
Л62	62-65	Решта	0,07	0,2	0,005	0,002	0,01		
	Cu, %	Bi, %	Sb, %	As, %	Fe, %	Ni, %	Pb, %	Sn, %	S, %
М2	99,7	0,002	0,005	0,01	0,05	0,2	0,01	0,05	0,01



















## ДРОДАТОК В

### Сучасний стан досліджень технологічних методів виготовлення гвинтових заготовок з відігнутих профілем

Як свідчить огляд літературно-патентних джерел стосовно застосування і виробництва гвинтових виробів з відігнутих профілем, процес їх створення й впровадження успішно триває. В нашій країні та за кордоном проводяться дослідження, нагромаджується теоретичний досвід, з'являються нові конструкції, розширюється область їх використання.

Використання деталей типу шнеків із похилими витками (Капаціла Ю.Б., Байбара С.Н.) довели, що продуктивність шнека зі спіраллю, встановленої під кутом 7-10° вниз по відношенню до сердечника, виявилася вище в 1,48-1,50 рази порівняно зі шнеком, спіраль якого встановлена горизонтально. Однак за кордоном часто використовують деталі типу шнеків із кутом нахилу поверхні витка що не перевищує 25 градусів.

Зокрема виготовленням деталей машин зі згаданих гвинтових заготовок з відігнутих профілем займаються фірми ООО "ПГ-Спецстрой"; ЗАО «Оутотек Санкт-Петербург»; "Adams Fertilizer Equipment Manufacturer"; "TRUSTUL ANTREPRIZA GENERALA CO" (Румунія), JOY MFG CO (Японія) MERCHANT & EVANS COMPANY (США) та ін..

Великий вклад в розробку теорії і практики виготовлення деталей машин різного функціонального призначення із гвинтових заготовок з відігнутих профілем витка внесли Б.М. Гевко, М.І. Пилипець, Р.М. Рогатинський, Latter Charles, A. Curdy, Jieemus Emu Rapeiru, Jieemus Emu Rapeiru, Hawaado Horusuto Riibaaman; Jiyooji Maurii Roosenberii Jiy, Voicu Dragos, Liebermann Howard; Peter Frischmann; Rosenberry George Mjr, Peetaa Jiyooji Furitsushiyuman, Kawchitch Claude Edward та ін..

1, 2, 3 – формуючі або опорні елементи: валки, ролики, планки, матриці, пуансони, калібри; 4 – оправа; 5, 6 – гофроформувальні елементи

(валки, матриці, пуансони); 7, 8 – калібрувальні гофроформувальні елементи;  
9 – смуга; 10 – ГГЗ; 11 - направляючі елементи спіралі.

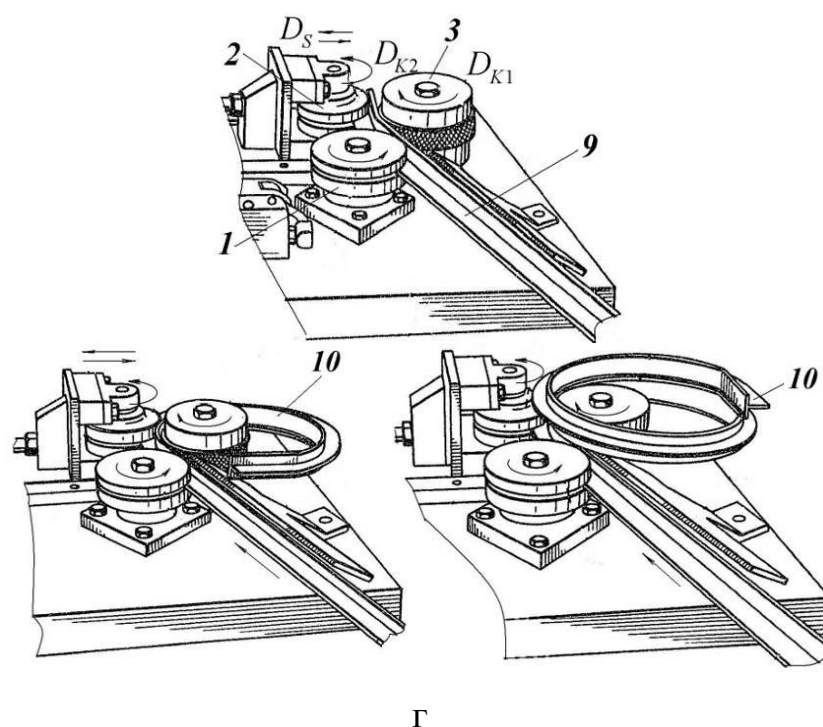
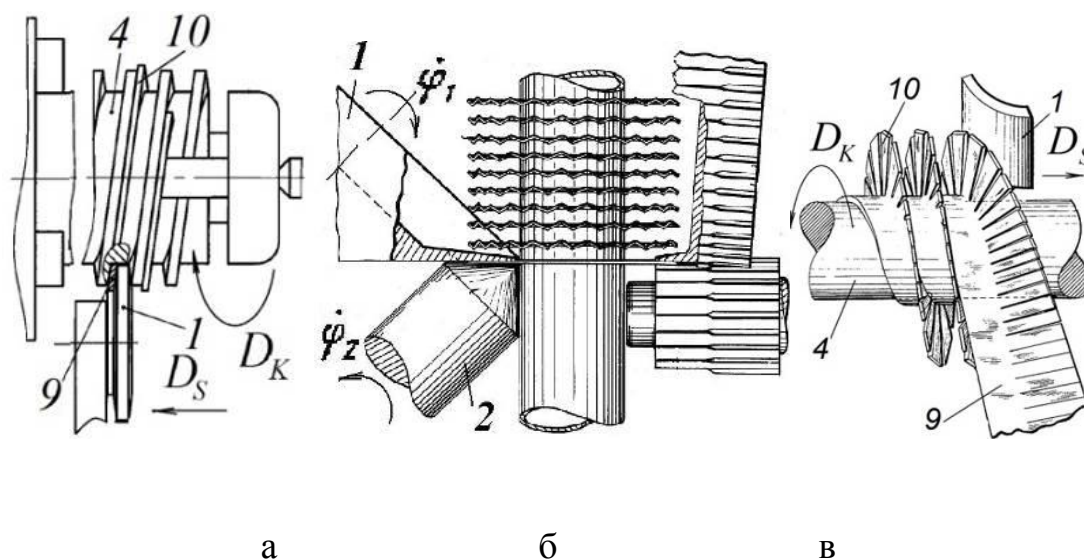


Рис.1. Основні схеми виготовлення навивних гвинтових заготовок з відігнутим профілем: а – навивання стрічкових заготовок на гвинтові оправи: (Пат. Білорусії №BY2318 та Росії RU49473UU1); б – вальцювання з одночасним профілюванням (US3319446A1); в – навивання з одночасним гнуттям; г – безоправкове навивання на роликівих профілезгинальних машинах

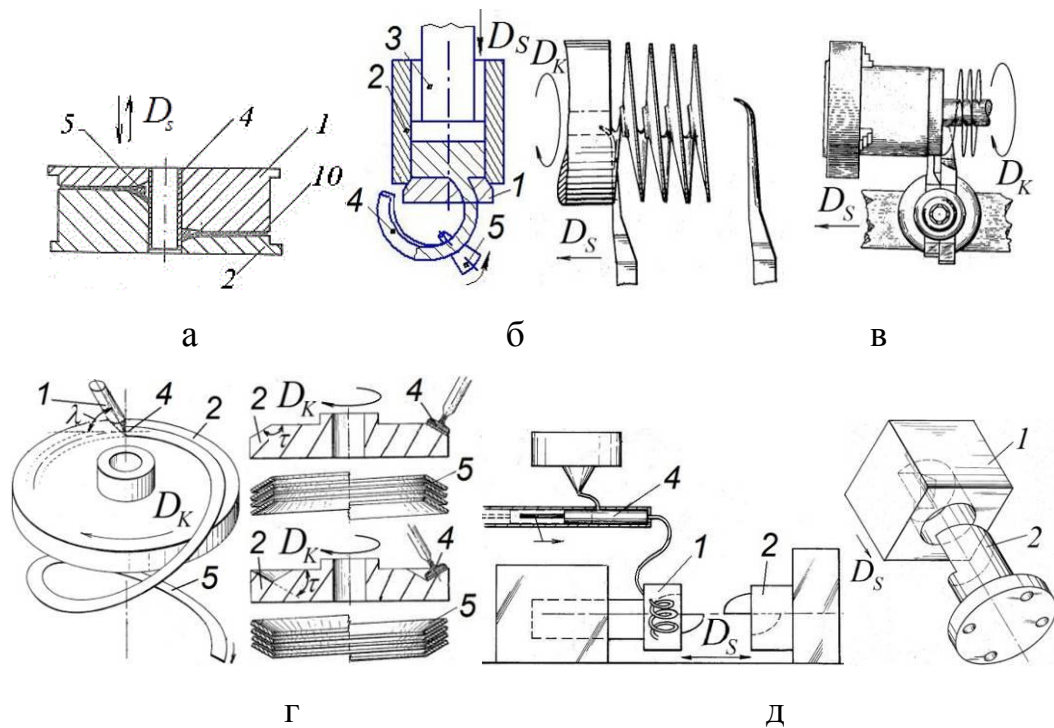


Рис.2. Основні схеми спеціальних способів виготовлення гвинтових заготовок з відігнутих профілем: а – формовка за допомогою пуансона і матриці та спеціальної спіральної вставки (фірми “TRUSTUL ANTREPRIZA GENERALA CO” (Румунія)); б – способу видавлювання (АС СРСР №593764: 1 – матриця; 2 – контейнер; 3 – пуансон; 4 – ГЗ; 5 – роликів калібр); в – оброблення різанням циліндричної заготовки з утворенням гвинтової заготовки у вигляді стружки (Pat. US2162693, Pat. US2370265, Pat. FR1357768); г – неперервне лиття з використанням обертових кристалізаторів (Пат. №№ US972240, US4341845, CA1132310); д – лиття під тиском

Зважаючи на різноманітність технологічних методів та на значний об'єм розробок виявлено ряд проблемних питань.

Через значну матеріало- і енергомісткість, переважну більшість технічних рішень важко реалізувати в умовах одиничного (ремонтного) та дрібносерійного виробництва на базі існуючого парку універсального устаткування.

Існує складність виготовлення ГЗ з відігнутих профілем із стрічок складного поперечного перетину із  $V/H > 10$ . та  $H_c < 5$  мм, особливо заготовок

підвищеної жорсткості, що обмежує номенклатуру нових типів деталей машин типу шнеків, тим самим звужуючи можливі сфери їх використання.

Д.т.н. Васильківом В.В. запропонована комплекс технологій виготовлення нового виду ГЗ – неперервносекційних (в тому числі із відігнутих профілем), які виконані у формі кільцевих секторних елементів, з'єднаних пазовими перемичками. Їх отримують із початкових неперервно-секційних смугових заготовок (НССЗ). Залежно від конструктивних особливостей гвинтових виробів, формування згаданих ГЗ виконують на основі різних методів і способів навивання, вальцювання, розганяння, гнуття та скручування. При цьому спільними ознаками процесів формоутворення НССЗ є забезпечення умови збігу центрів сусідніх кільцевих секторних елементів в одній точці – центрі плоского витка такої заготовки, або умови розміщення центрів на одній осі, яка є поздовжньою віссю згаданої заготовки.

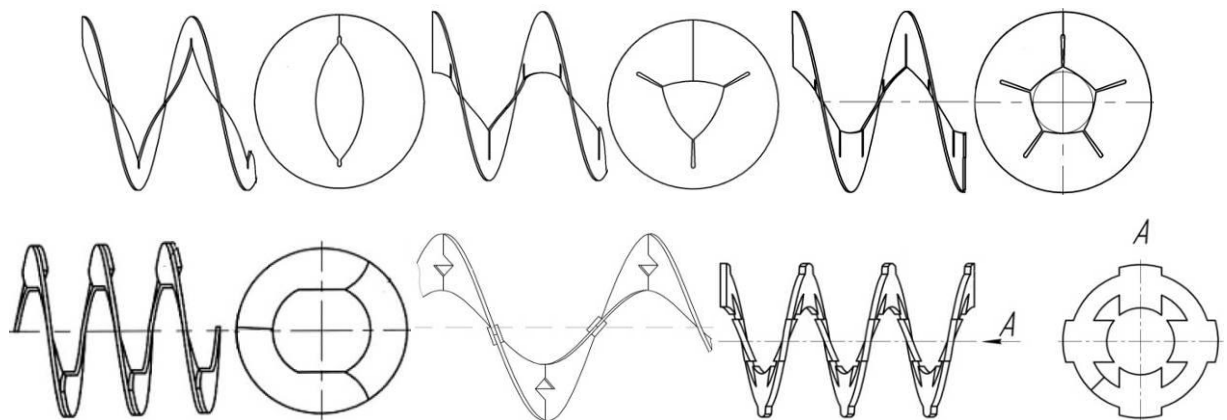
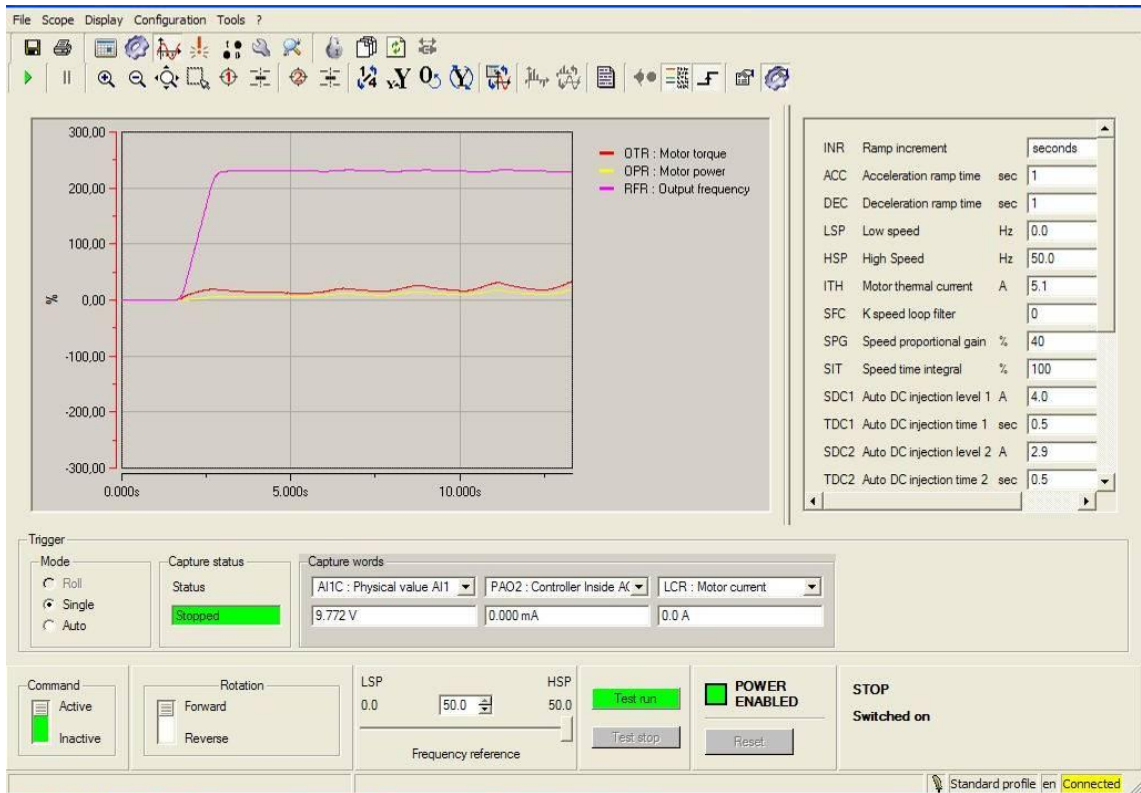
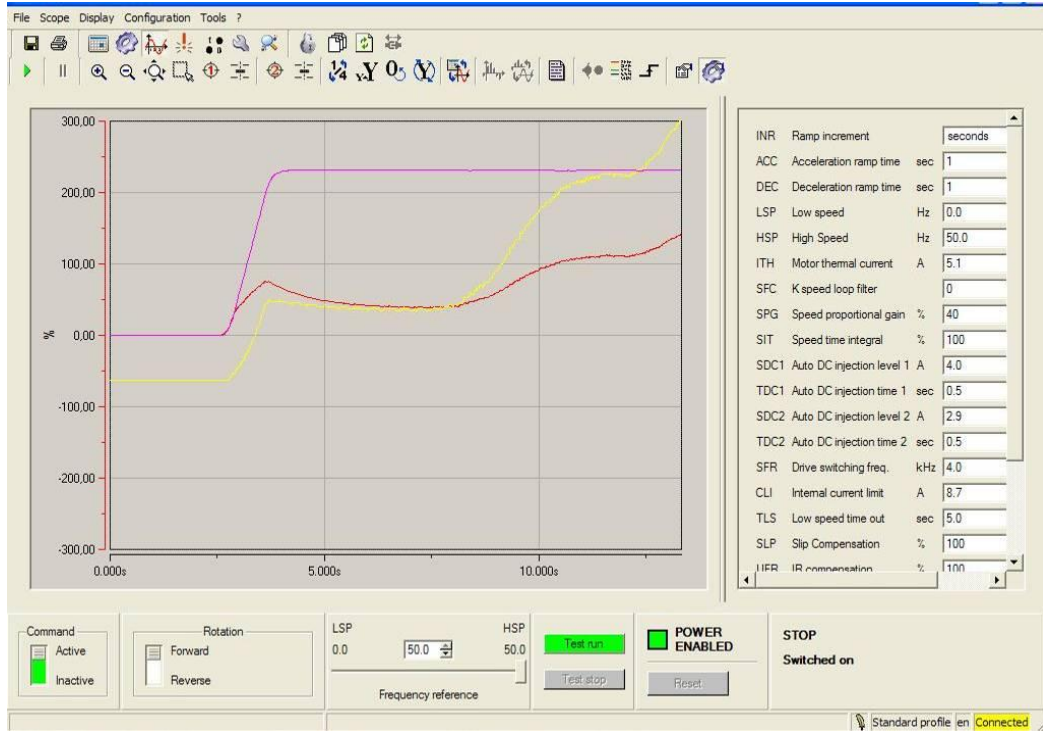


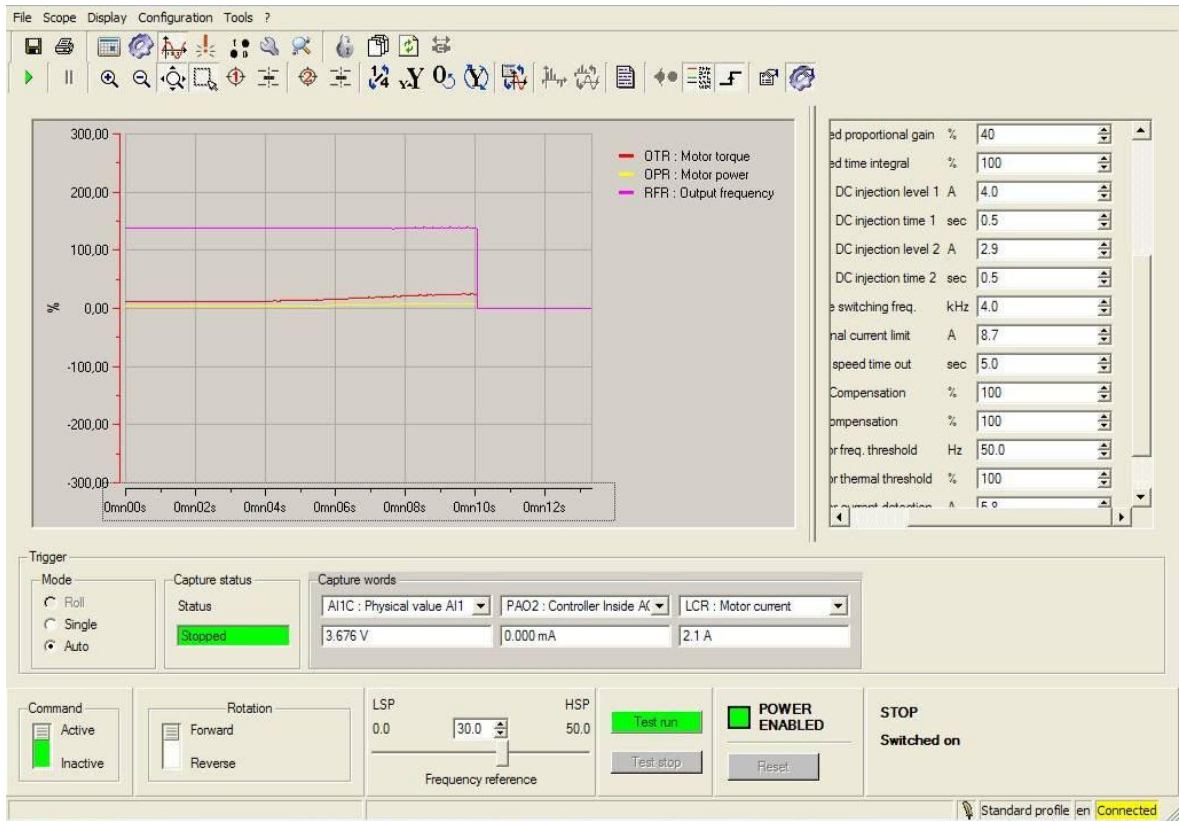
Рис. 3. Нові види НСГЗ: Значного підвищення жорсткості таких заготовок можна досягнути шляхом їх механічного оброблення до утворенням відігнутих витків.



## ДОДАТОК Г

### Дані програми PowerSuite 2.5.0





ТОВАРИСТВО  
З ДОДАТКОВОЮ ВІДПОВІДАЛЬНІСТЮ  
"БУЛАТ"



THE ADDITIONAL  
LIABILITY COMPANY  
"BULAT"

Юридична адреса:  
48120, Україна, Тернопільська обл., смт Микулинці,  
вул.Тернопільська,35  
Телефони: +380-355-151-145,  
тел/факс : +380-355-151-000

Address:  
48120, 35 Ternopilska St, Mykulyntsi, Ternopil region, Ukraine  
Tel. +380 355 151-145  
Fax. +380-355-151-000

## АКТ про впровадження наукової розробки в ПАТ "Булат"

Результати теоретичних та експериментальних досліджень з калібрування гвинтових заготовок, проведені співробітниками ТНТУ Гевком І.Б., Гупкою А.Б. та Катричем О.В. (пат. № 98976 і № 104783; заявка на пат. u201601316 і u201601276) у 2016 році були використані в ПАТ "Булат" при виробництві технологічного оснащення.

Запропоновані технічні рішення дозволяють ефективно здійснювати технологічний процес калібрування гвинтових заготовок під кутом.

Директор



Ковальчук О.В.

[Адреса: 48120, Тербовлянський район, смт. Микулинці, Тернопільська, 35]  
[телефон:+380 3551 5123; сайт: <http://bulat.te.ua>; e-mail: [zbut@bulat.te.ua](mailto:zbut@bulat.te.ua)]

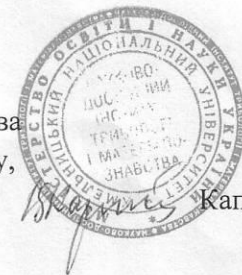
АКТ  
впровадження результатів наукових досліджень

За результатами спільних науково дослідних робіт із співробітниками кафедри «Технології машинобудування» Тернопільського національного технічного університету ім. Івана Пулюя д.т.н, проф.. Гевко Ів.Б., асп. Гупка А.Б запропоновані сучасні технології зміцнення робочих поверхонь важко навантажених деталей сільськогосподарських машин (спіралі шнеків, диски копачів) для підвищення їх трибологічної надійності.

Для підтвердження запропонованих технічних рішень розроблена комплексна методика дослідження та кінетичні критерії оцінки зносостійкості даних деталей з проектуванням та виготовленням відповідних стендів та машин тертя із широким діапазоном технічних характеристик.

Розроблені та запропоновані науково технічні рішення забезпечують високі експлуатаційні параметри поверхонь тертя даних деталей, підвищують їх ресурс, дозволяють знизити собівартість їх виготовлення і після відповідної конструкторсько-технологічної підготовки можуть бути впроваджені у виробництво.

Директор НДІ трибології і матеріалознавства  
Хмельницького національного університету,  
докт.техн.наук, професор



Каплун В.Г.





ЗАТВЕРДЖУЮ:

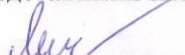
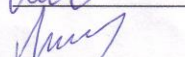
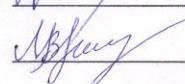
Голова правління  
ПАТ "Червона зірка"С.Г. Калапа  
10 2015 р.**АКТ**

**прийняття до впровадження науково-технічних розробок професора кафедри «Технології машинобудування» Гевка Ів.Б. та асистента Гупки А.Б. Тернопільського національного технічного університету ім. Івана Пулюя по технології виготовлення гвинтових заготовок з вигнутим профілем**


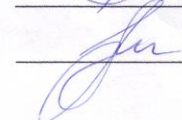
Комісія в складі представників ПАТ "Червона зірка" – головного зварювальника Яблонського І. А., директора механоскладального цеху Мартиненко І. А., інженера-технолога Ярової Л.В. та представників Тернопільського національного технічного університету ім. Івана Пулюя (ТНТУ) – д.т.н., професора кафедри технології машинобудування Гевка Ів. Б. та асистента Гупки А.Б. склали даний акт в тому, що в результаті теоретичних та експериментальних досліджень, які проводились в рамках науково дослідної роботи ДІ204-13 « Розробка та впровадження енергоефективних конструкцій та ресурсозберігаючих технологій виготовлення смугових гвинтових спіралей енергетичних установок (№ держбюджетної реєстрації 0113U000255) розроблена принципово нова технологія виготовлення гвинтових заготовок в вигнутим профілем з широким діапазоном конструктивних параметрів. Спроектовано та виготовлено відповідне устаткування, робочий та вимірювальний інструменти, підібрано технологічне обладнання (патенти України на корисну модель № 44468, 98904). Спроектована конструкція шнекового очисника для робочих поверхонь диска копача коренеплодів (патент України на корисну модель № 95391).

Комісія вважає, що розроблена та запропонована вдосконалена технологія виготовлення гвинтових заготовок в вигнутим профілем забезпечує необхідний комплекс конструкторсько-технологічних та експлуатаційних параметрів, які підвищують надійність, довговічність та продуктивність спіралей робочих органів гвинтових конвеєрів та гвинтових змішувачів і після відповідної підготовки виробництва будуть впроваджені на ПАТ "Червона зірка" на безоплатній основі.

**Представники ПАТ "Червона зірка":**

 І.А. Яблонський  
 І.А. Мартиненко  
 Л.В. Ярова

**Представники ТНТУ:**

 Ів.Б. Гевко  
 А.Б. Гупка