

**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

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Тернопіль - 2016

Дисертація на правах рукопису.

Роботу виконано в Тернопільському національному технічному університеті імені Івана Пулюя Міністерства освіти і науки України.

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

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор,
Гурей Ігор Володимирович,
Національний університет «Львівська політехніка»,
професор кафедри технології машинобудування

кандидат технічних наук, доцент,
Кондратюк Олександр Михайлович,
Національний університет водного господарства та
природокористування,
доцент кафедри теоретичної механіки, інженерної графіки
та машинознавства

Захист відбудеться 01 липня 2016 р. о 10⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради К 58.052.03 у Тернопільському національному технічному університеті імені Івана Пулюя за адресою: 46001, м. Тернопіль, вул. Руська, 56, ауд. 58.

З дисертацією можна ознайомитися в науково-технічній бібліотеці Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя за адресою: 46001, м. Тернопіль, вул. Руська, 56.

Автореферат розіслано «31» травня 2016р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради

А.Є. Дячун

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

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 навівання стрічкових ГЗ із 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 проведені 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. Спроектовано і виготовлено конструкцію технологічного 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 3 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 дисципліни «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 [9-11]. У працях, опублікованих у співавторстві [1-8, 12-16], здобувачеві належать: дослідження силових параметрів формоутворення ГЗ [1, 3, 4, 8], запропоновано новий метод очищення дисків копачів шнековими очисниками з Г-подібними спіралями [2], визначено якісні показники ГЗ з точки зору трибологічної надійності важконавантажених пар тертя [6, 9-11], розроблення технологічного процесу обробки різанням ГЗ [7].

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 «Сільськогосподарська 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 тези 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.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі подано загальну характеристику роботи, обґрунтовано актуальність теми, визначено мету і задачі дослідження, викладено наукову новизну та практичне значення одержаних результатів, наведено дані про їх апробацію, структуру та обсяг роботи.

У першому розділі подано загальну характеристику гвинтових заготовок із вигнутим профілем (ГЗВП) та сфер їх застосування. Проведено аналіз способів, технологічного устаткування, спорядження та інструменту для виготовлення ГЗВП. Проаналізовано фактори, які впливають на технологічні процеси холодного та гарячого формоутворення ГЗ. Проведено аналіз результатів теоретичних досліджень формоутворення стрічкових ГЗВП та процесів їх токарного оброблення.

Значний внесок у формування наукових основ проектування й дослідження технологічних процесів виготовлення ГЗ зробили такі вчені, як: І.П. Рене, Є.М. Мошнін, Ю.А. Аверкієв, А.З. Журавльов, А.Е. Церна, Д.Я. Шифрін, М.Є. Зубцов, М.Н. Лисовий, Б.Я. Мазуровський, С.Ф. Пилипака, Є.А. Попов, В.П. Романовський, Н.С. Трішевський, Б.М. Гевко, М.І. Пилипець, Р.М. Рогатинський, В.В. Васильків, О.Л. Ляшук, О.М. Лясота та інші.

На основі проведеного аналізу особливостей формоутворення вигнутого профілю на стрічковій ГЗ визначено наукові підходи та напрямки досліджень для вирішення поставлених в роботі задач.

У другому розділі наведено теоретичні передумови розроблення технологічного процесу виготовлення ГЗВП. Запропоновано розрахункову схему процесу навивання стрічки на оправу (рис. 1), де введено наступні позначення: B_n – ширина полички гвинтового елемента, мм; R_0 – радіус оправу, мм; h – висота вертикальної частини заготовки, мм; α_1 – кут нахилу полички, град.; r_1 – найменший внутрішній радіус гнуття полички, мм; s – товщина витка спіралі, мм; F_{T1} – сила тертя між роликом та стрічкою, Н; F_{T2} – сила тертя між стрічкою та оправою, Н; N – поздовжня сила, Н; F – рівнодійна нормальних контактних напружень на стрічці, Н; P – сила гнуття, Н; γ – кут повороту оправу, град.; R_3 – середній радіус взаємодії гвинтового елемента, мм; l – відстань між центрами оправу та притискного ролика, мм; ω_1 – кутова швидкість ролика; ω – кутова швидкість оправу.

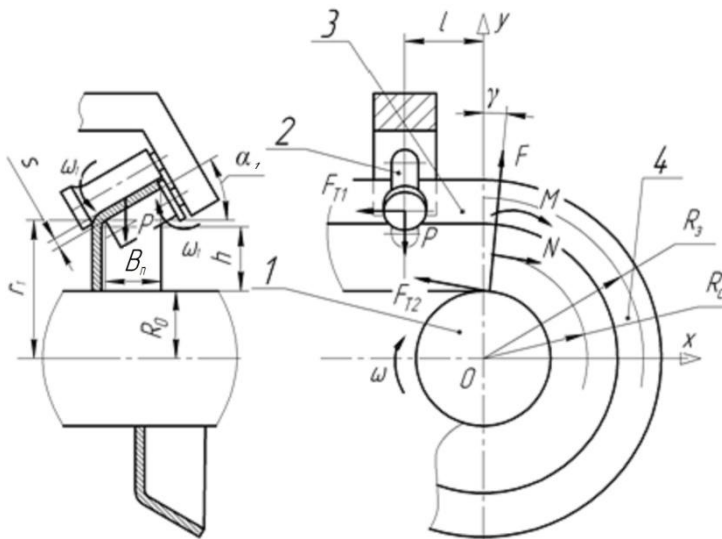


Рис. 1. Розрахункова схема процесу навивання стрічки на оправу: 1 – оправу; 2 – притискний ролик; 3 – стрічка; 4 – гвинтовий елемент

Значення моменту гнуття під час навивання з підігрівом визначено як інтегральну суму по висоті заготовки елементарних елементів від тангенційних напружень:

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

де $\sigma_{\theta 1}$, $\sigma_{\theta 2}$ - тангенційні напруження в зоні розтягу та в зоні стиску відповідно;
 ρ - полярна координата радіуса гнuttя, мм.

Після перетворення рівнянь одержано:

$$M = \frac{1}{2} \cdot \beta \cdot \sigma_s \left([bB_n \left(r_1 + \frac{1}{2}b + B_n \operatorname{tg} \alpha_1 \right) + \frac{B_n}{3} (B_n \cdot \operatorname{tg} \alpha_1 \cdot (-r_1 D + \operatorname{tg} \alpha_1 K B_n + \frac{1}{2}b + 3r_1 K - D \operatorname{tg} \alpha_1 B_n) + \right. \\ \left. + 3r_1^2 (K - D) - b(b + r_1)) + \frac{r_1^3 (K - D - C + \ln r_1) + b^3 (K - C) + r_1 b^2}{\operatorname{tg} \alpha_1} \right] + s \left(-\frac{1}{2} ((R_0 + h)^2 - R_0^2) - \right. \\ \left. - (R_0 + h)^2 \ln \left(\frac{R_0 + h}{R_0} \right) \right) \right) \quad (2)$$

де β - коефіцієнт, що враховує вплив середнього головного напруження, дорівнює 1,15; σ_s - межа плинності матеріалу гвинтового затискного елемента, МПа;
 $b = s / \cos \alpha_1$; $C = \ln(r_1 + b)$; $K = \ln(r_1 + b + H \operatorname{tg} \alpha_1)$; $D = \ln(r_1 + H \operatorname{tg} \alpha_1)$. Згідно розрахункової схеми (рис. 1) рівняння рівноваги частини стрічки, яка піддається деформації визначено наступним чином:

$$P = F; N = (\mu_1 + \mu_2) \cdot P; P = \frac{M}{l + \mu_1 \cdot R_s + \mu_2 \cdot R_0} \quad (3)$$

де μ_1 - коефіцієнт тертя між притискним роликком та стрічкою; μ_2 - коефіцієнт тертя між оправою та гвинтовим елементом.

Слід зауважити, що μ_1 є величиною приведеною і не відповідає безпосередньому значенню коефіцієнта тертя для контактуючих деталей.

Наведені вище формули можуть використовуватися для проектування та виготовлення необхідного технологічного устаткування, робочого інструменту.

За даними аналітичних досліджень побудовано залежності зміни крутного моменту (рис. 2) та зусиль гнuttя (рис. 3) стрічки від ширини полицки для сталі 08кп.

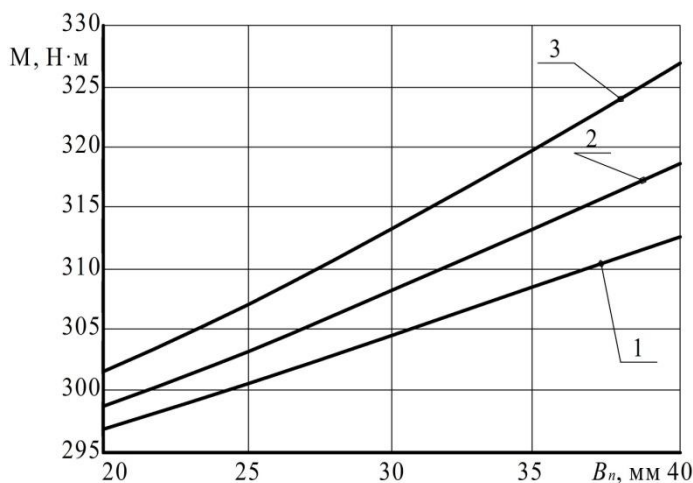


Рис. 2. Графічні залежності моменту гнuttя стрічки M від ширини полицки B_n (сталі 08кп) $s = 1,5$ мм, $R_0 = 30$ мм:
 1) $\alpha = 10^\circ$; 2) $\alpha = 20^\circ$; 3) $\alpha = 30^\circ$

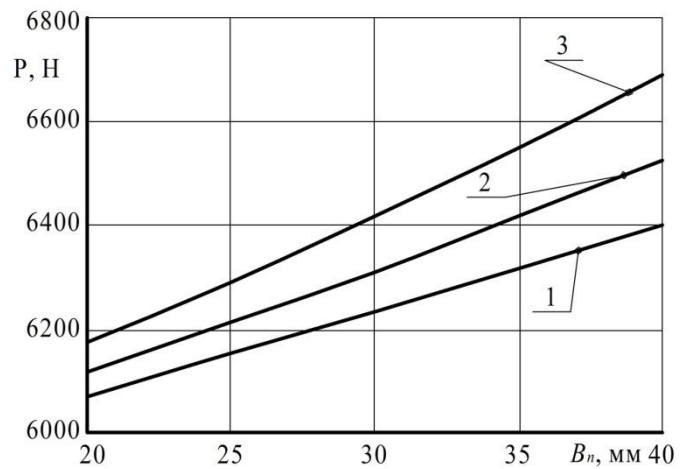


Рис. 3. Графічні залежності зусиль гнuttя P стрічки від ширини полицки B_n (сталі 08кп) $s = 1,5$ мм, $R_0 = 30$ мм:
 1) $\alpha = 10^\circ$; 2) $\alpha = 20^\circ$; 3) $\alpha = 30^\circ$

Аналіз залежностей (рис. 2 і рис. 3) показав, що більша частина деформації заготовки припадає на частину із сформованою поличкою. Із збільшенням ширини полички B_n від 20 до 40 мм та кута її нахилу α від 10° до 30° крутний момент зростає від 296 до 326 Н·м, а зусилля гнуття відповідно - від 6100 до 6540 Н.

Для дослідження силових параметрів процесу формоутворення полички на ГЗ розглянемо відповідну розрахункову схему (рис. 4).

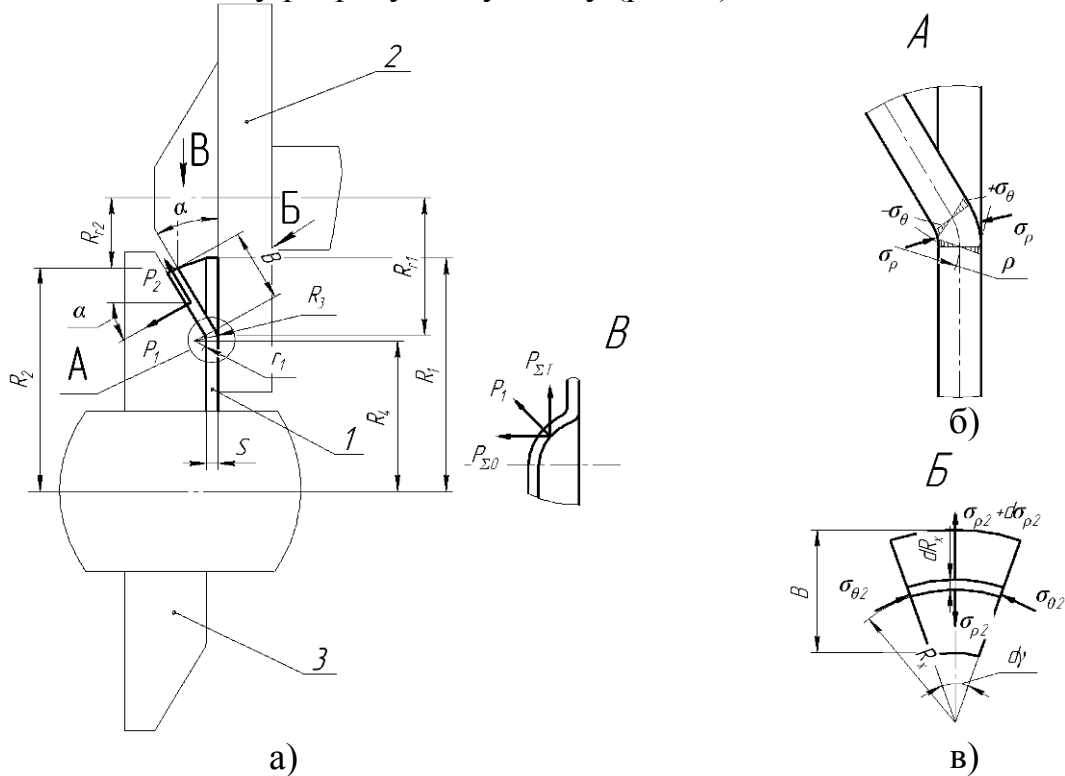


Рис. 4. Розрахункова схема процесу формоутворення полички на гвинтовій заготовці: а) основний вигляд; б) вигляд зони деформації згину полички по внутрішньому радіусу; в) вигляд зони деформації матеріалу елементарного сектору на зігнутій поличці, 1 – ГЗ, 2 – ролик, 3 – оправа

На рис. 4 введено наступні позначення: R_{z2} – зовнішній радіус гнуття стрічки по лініях згинання, мм; B_n – ширина полички, мм; α – кут згину полички, град; σ_ρ – радіальні напруження; σ_θ – тангенційні напруження; $d\gamma$ – кут в плані; dR_x – ширина кільцевої стрічки, мм; R_x – відстань від центру в полярній системі координат; R_1 – зовнішній радіус ГЗ, мм; R_2 – радіус ГЗ із сформованою поличкою, мм; R_4 – радіус недеформованої частини ГЗ, мм.

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

$$P_{\Sigma o} = (P_1 \sin \alpha + P_2 \cos \alpha) \sin \left(\arccos \left(1 - \frac{B_n \sin \alpha}{R_{r1} + R_{r2}} \right) \right), \quad (4)$$

де R_{r1} – радіус конічного ролика на лінії його контакту із ГЗ при основі сформованої полички, мм; R_{r2} – радіус конічного ролика на лінії його контакту із ГЗ на зовнішній краї сформованої полички, мм.

Сумарне зусилля деформації полички в тангенційному напрямку оправи визначено за формулою:

$$P_{\Sigma T} = (P_1 \sin \alpha + P_2 \cos \alpha) \left(1 - \frac{B_n \sin \alpha}{R_{r1} + R_{r2}} \right). \quad (5)$$

Крутний момент на оправі дорівнює:

$$M_o = \left((P_1 \sin \alpha + P_2 \cos \alpha) \left(1 - \frac{B_n \sin \alpha}{R_{r1} + R_{r2}} + \sin \left(\arccos \left(1 - \frac{B_n \sin \alpha}{R_{r1} + R_{r2}} \right) \right) \mu \right) \right) \left(R_4 + r_1 \sin \alpha + \frac{B_n}{2} \cos \alpha \right), \quad (6)$$

де P_1 - сила згину полички для першої зони деформації, яку визначено за формулою:

$$P_1 = \frac{2\beta R_{r1}}{B_n} \arccos \left(\frac{R_{r1} - B_n \sin \alpha}{R_{r1}} \right) \cdot \left[\sigma_{T.0} \cdot \frac{S^2}{4} + \Pi \cdot \left(\frac{R_3^2 + r_1^2}{4} \cdot \ln \sqrt{\frac{R_3}{r_1}} - \frac{R_3^2 - r_1^2}{8} \right) \right], \quad (7)$$

P_2 - радіальне зусилля деформації полички ГЗ, яке розраховується за формулою:

$$P_2 = \beta \left(\sigma_{T.0} \ln \frac{R_5}{R_x} + \Pi \left(\frac{1}{2} \ln \frac{(R_1 - R_5(1 - \cos \alpha))^2}{(R_1 - R_x(1 - \cos \alpha))^2} + \int_1^{\frac{R_1}{R_1 - R_x(1 - \cos \alpha)}} \frac{\ln(t)}{1-t} dt - \int_1^{\frac{R_1}{R_1 - R_5(1 - \cos \alpha)}} \frac{\ln(t)}{1-t} dt \right) \right) \times \quad (8)$$

$$\times \frac{s(R_{r1} + R_{r2})}{2} \arccos \left(1 - \frac{B_n \sin \alpha}{R_{r1} + R_{r2}} \right),$$

де $\int_1^{\frac{R_1}{R_1 - R_x(1 - \cos \alpha)}} \frac{\ln(t)}{1-t} dt$ - ділогарифм Ейлера; $\sigma_{T.0}$ - екстрапольована межа плинності,

МПа; Π - лінійний модуль зміцнення, МПа.

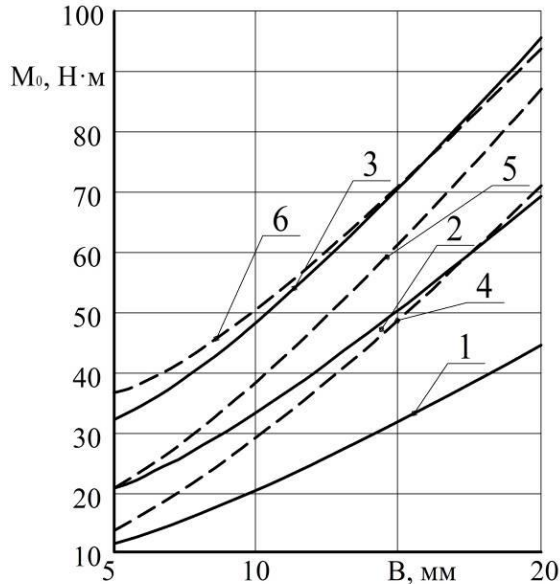


Рис. 5. Графічні залежності крутного моменту M_o на оправі для деформації ГЗ зі сталі 08кп від ширини полички B_n при $s=2$ мм: 1) $\alpha=10^\circ$, 2) $\alpha=17^\circ$, 3) $\alpha=35^\circ$; при $\alpha=30^\circ$: 4) $s=1$ мм, 5) $s=1,5$ мм, 6) $s=2$ мм

З аналізу графічних залежностей, побудованих за результатами теоретичних досліджень, (рис. 5) встановлено, що для сталі 08кп, із збільшенням кута нахилу полички α та при незмінній товщині витка спіралі $s = 2$ мм крутний момент гнуття зростає від 13 до 71 Нм для $\alpha = 10^\circ$, від 21 до 87 Нм для $\alpha = 17^\circ$ та від 37 до 93 Нм для $\alpha = 35^\circ$. При зміні товщини витка спіралі моменти гнуття змінюються від 11 до 44 Нм для $s = 1$ мм, від 21 до 70 Нм для $s = 1,5$ мм і від 33 до 95 Нм для $s = 2$ мм відповідно. Із збільшенням кута нахилу та ширини полички крутний момент зростає.

З метою визначення максимальних навантажень на систему в процесі проточування зовнішньої крайки ГЗВП було розроблено відповідну динамічну модель (рис. 6)

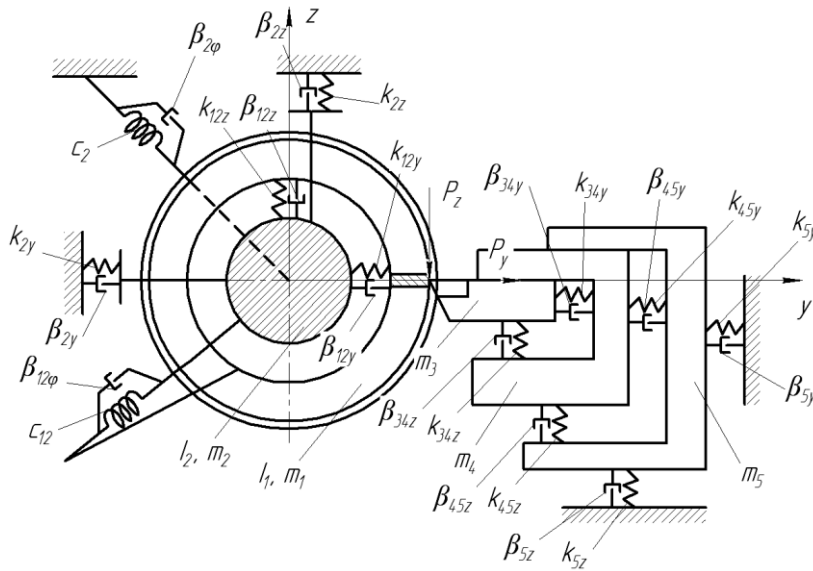


Рис. 6. Розрахункова схема динамічної моделі процесу проточування зовнішньої крайки ГЗ

До зосереджених мас, зображених на рис. 6, віднесено I_1 – зведений момент інерції ГЗ, I_2 – зведений момент інерції оправи, m_1 – маса ГЗ, m_2 – маса оправи, m_3 – маса різця, m_4 – маса різцетримача; m_5 – маса супорта. Витки ГЗ стиснені між собою і не щільно прилягають один до одного. В процесі проточування зовнішньої крайки ГЗ проходить дефо-

рмація її матеріалу, яка негативно впливає на якість обробленої поверхні. На рис. 6 позначено: зведені коефіцієнти крутильної жорсткості: c_{12} – зведена жорсткість ГЗ; c_2 – зведена жорсткість оправи, а також показано зведені коефіцієнти лінійної жорсткості: k_{12z} , k_{12y} – зведена лінійна жорсткість гвинтової заготовки відповідно в напрямках осей z та y ; k_{2z} , k_{2y} – зведена лінійна жорсткість оправи 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: $\beta_{12\phi}$ – коефіцієнт демпфування крутильних коливань між оправою та ГЗ; $\beta_{2\phi}$ – коефіцієнт демпфування крутильних коливань між оправою та шпинделем; β_{12z} , β_{12y} – коефіцієнти демпфування лінійних коливань між оправою та ГЗ в напрямках осей z та y ; β_{2z} , β_{2y} – коефіцієнти демпфування лінійних коливань між оправою та шпинделем в напрямках осей z та y ; β_{34z} , β_{34y} – коефіцієнти демпфування лінійних коливань між різцем та різцетримачем в напрямках осей z та y ; β_{45z} , β_{45y} – коефіцієнти демпфування лінійних коливань між різцетримачем та супортом в напрямках осей z та y ; β_{5z} , β_{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 зовнішньої крайки ГЗ можна розглядати як перетин двох поверхонь: зовнішнього діаметра ГЗ і гвинтової поверхні оброблення від подачі різця.

Складено диференціальні рівняння руху системи для вимушених коливань, використовуючи рівняння Лагранжа другого роду, для мас, які здійснюють крутильні коливання, та для мас, які здійснюють лінійні переміщення.

Виконуючи відповідні перетворення рівнянь і враховуючи функцію розсіювання Φ , одержано систему рівнянь вимушених коливань:

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

де - R – радіус проточування, мм; z_i, y_i - лінійні переміщення мас в напрямку осей z та y ; φ_i - кути повороту інерційних мас; $P_z(t)$ – зміна осьової сили різання в часі, Н; $P_y(t)$ - зміна радіальної сили різання в часі, Н.

Рівняння зусиль різання P_{zi} для однієї взаємодії різця та ГЗВП представлено залежністю:

$$P_{zi}(t) = \frac{F_i(t) + P_{zC} - |F_i(t) - P_{zC}| + |F_i(t) + P_{zC} - |F_i(t) - P_{zC}|}{4}. \tag{13}$$

де $F_i(t) = \left(\frac{t_K}{2} - \left| \frac{t_K}{2} - (t - t_i) \right| \right) \cdot k_2$ - алгебологічна функція; k_2 - коефіцієнт, який визначає кут нахилу лінії зміни сил P_{zi} та P_{yi} ; t_i - момент часу, коли проходить різання різця у виток ГЗ; P_{zC} - максимальне зусилля різання, Н; t_k - час контакту різця із ГЗВП, сек; t - загальний час контакту різця з ГЗВП, сек.

Визначено функцію, яка описує періодичність взаємодії різця із ГЗВП:

$$P_z(t) = \sum_{i=1}^n P_{zi}(t). \tag{14}$$

Приклад використання функції (14) при проточуванні ГЗ із змінною глибиною різання, під час періодичного врізання, представлено на рис. 7. З аналізу якого

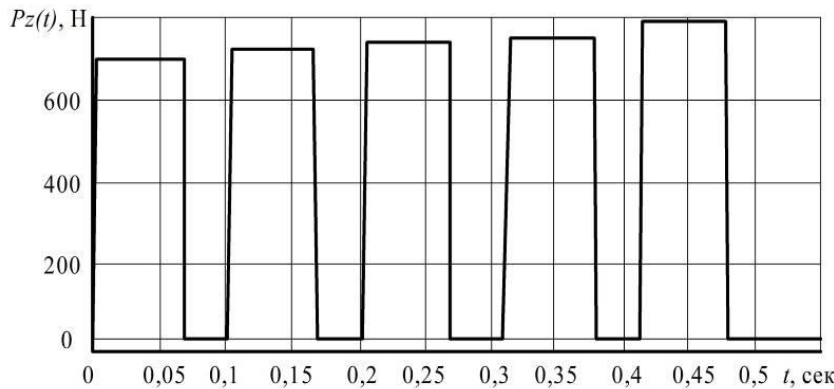


Рис. 7. Графік зміни сили різання $P_z(t)$ в часі t

зроблено висновок, що сила різання при проточуванні зовнішньої крайки вигнутого профілю при взаємодії різця з кожним наступним витком змінюється від 690 Н на першому витку до 800 Н на останньому. За результатами досліджень початкових умов, представлено графічні

залежності зміни кута деформації ГЗ в часі (рис. 8), кута деформації оправи (рис. 9), лінійної деформації ГЗ в часі (рис. 10) та лінійної деформації різця в часі (рис. 11) під час проточування ГЗВП діаметром 100 мм (сталь 08кп).

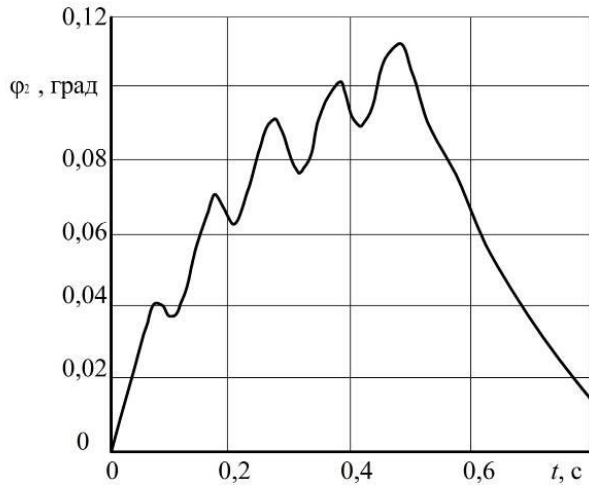


Рис. 8. Графік зміни кута деформації ГЗ в часі t

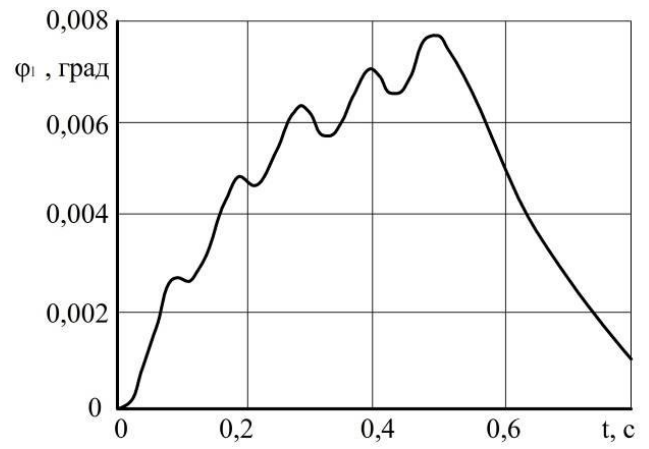


Рис. 9. Графік зміни кута деформації оправи в часі t

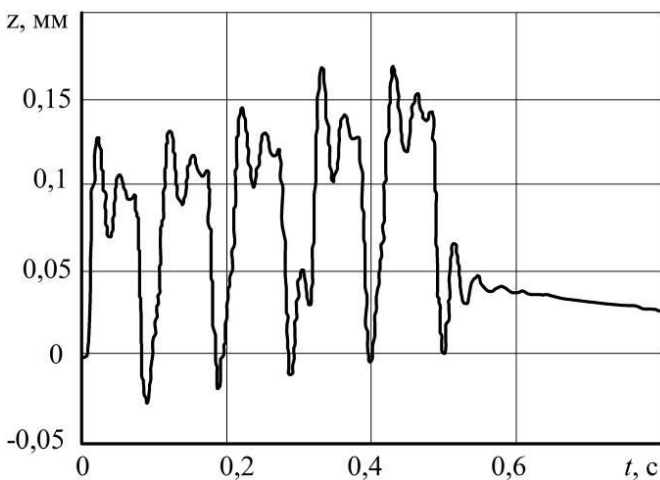


Рис. 10. Графік зміни лінійної деформації ГЗ в часі t

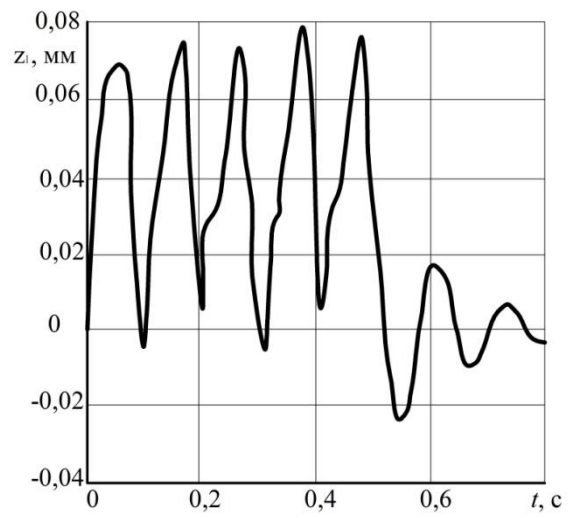


Рис. 11. Графік зміни лінійної деформації різця в часі t

Для перевірки адекватності запропонованої системи диференціальних рівнянь усі її складові визначено експериментально. Із представлених графічних залежностей видно, що кут деформації ГЗ в часі спочатку зростає до 0,115 градусів із збільшенням глибини різання, а потім поступово знижується із затухаючими коливаннями до нуля при виході різця із зони різання.

У третьому розділі наведено програму та методику експериментальних досліджень процесу формоутворення вигнутого профілю на ГЗ. На основі проведеного теоретичного дослідження спроектовано та виготовлено нову конструкцію інструменту для формоутворення вигнутого профілю на ГЗ. Під час проведення експериментальних досліджень використано дві методики формоутворення вигнутого профілю на ГЗ. Перша методика формоутворення полягає у виготовленні вигнутого профілю на ГЗ за допомогою шнекових оправ з постійним кроком витків (рис. 12 і рис. 13).



Рис. 12. Шнекові оправи: 1 – ГЗ підвищеної жорсткості, 2 – шнекова оправа із закріпленою ГЗ підвищеної жорсткості, 3 – вал

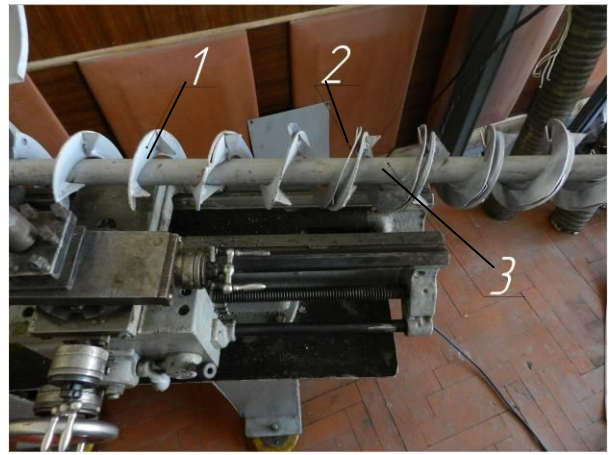


Рис. 13. Устаткування для формоутворення вигнутого профілю: 1 – шнекова оправа; 2 – ГЗ; 3 – вал

Друга методика проведення експериментальних досліджень для виготовлення вигнутого профілю полягає у використанні розробленого технологічного устаткування та інструменту (рис. 14 і рис. 15).

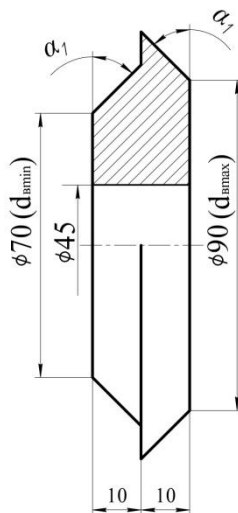
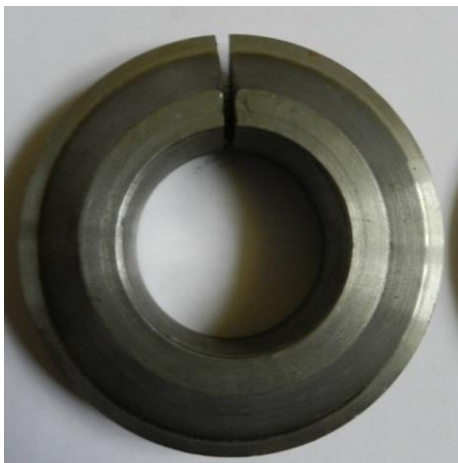


Рис. 14. Формувальна втулка

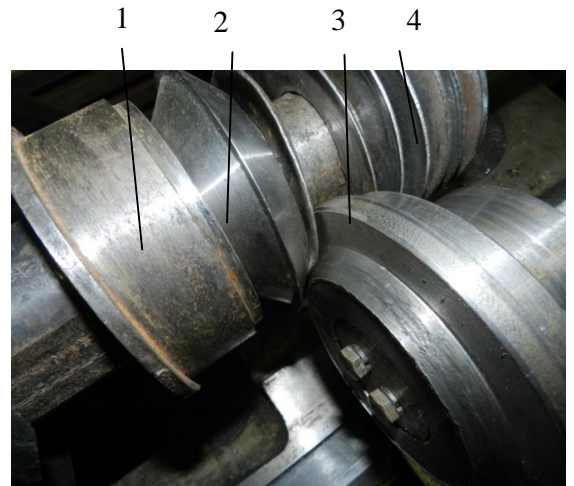


Рис. 15. Процес формоутворення вигнутого профілю на ГЗ

На рис. 15 зображено процес формоутворення вигнутого профілю за допомогою оправи 1, формувальної втулки 2, формувального ролика 3 на ГЗ 4.

Для проведення експериментальних досліджень було виготовлено формувальні втулки декількох типорозмірів з різними діаметрами d_e для одержання ширини полицки B_n від 10 до 30 мм та для кутів нахилу полицки α_1 від 10° до 60° . Спроектовано і виготовлено формувальний робочий інструмент (рис. 16), який складається із вала 3 на який через підшипниковий вузол 1 та 2 встановлено корпус 7 на технологічному уступі якого з лівого кінця розміщені формувальне кільце 5 та притискна шайба 6. З обох кінців корпусу встановлено захисні кришки 4 та 8. На торці вала закріплено два болти 9, які виконують роль кріпильних елементів. Інша

частина вала робочого інструменту виконана у формі державки 10 для його кріплення в патроні верстату.

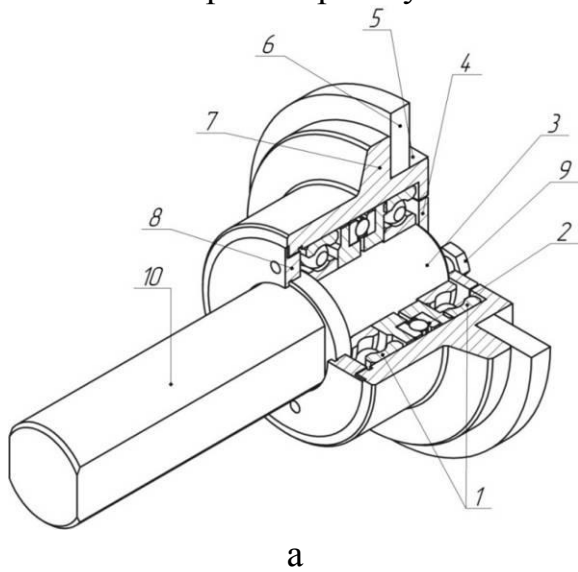


Рис. 16. Конструктивна схема (а) та загальний вигляд (б) формувального інструменту для виготовлення вигнутого профілю на ГЗ

Для пуску двигуна та регулювання частоти його обертання використано перетворювач частоти ALTIVAR і програмне забезпечення Power Suite v.2.5.0. Дані про зміну крутного моменту та потужності двигуна в часі отримували у вікні програми Power Suite v.2.5.0 на дисплеї монітора ПК. Загальний вигляд експериментальної установки та обладнання для регулювання кінематичних параметрів технологічного процесу і фіксації отриманих результатів зображено на рис. 17. Проведено дослідження процесу проточування зовнішньої крайки витка ГЗ (рис. 18).

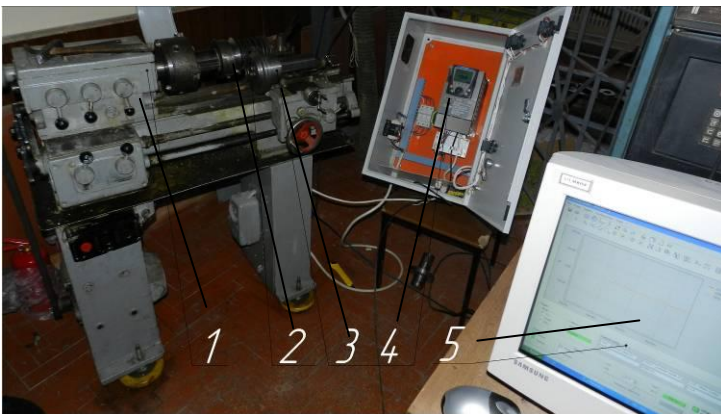


Рис. 17. Загальний вигляд експериментальної установки: 1 – верстат; 2 – ГЗ; 3 – формувальний інструмент; 4 – ALTIVAR; 5 - ПК



Рис. 18. Загальний вигляд процесу проточування зовнішнього крайки ГЗ

У четвертому розділі наведено результати експериментальних досліджень зусиль формоутворення вигнутого профілю на ГЗ.

Із двох досліджуваних методик вибрано спосіб з використанням формувальних втулок, який має ряд переваг:

- забезпечує рівномірне формоутворення вигнутого профілю на ГЗ із

забезпеченням необхідної точності кута нахилу полицки α_1 ;

- дозволяє уникати гофрування вигнутого профілю на гвинтовій заготовці;
- може використовуватись при формоутворенні вигнутого профілю з товщиною витка спіралі s від 3 до 5 мм;
- процес формоутворення полицки краще піддається автоматизації при зміні геометричних параметрів ГЗ.

Отримано регресійні рівняння для визначення впливу зміни крутного моменту формоутворення вигнутого профілю від діаметру ГЗ D , кута нахилу полицки α_1 і товщини витка спіралі s ГЗ, виготовлених із різних матеріалів (сталь 08 кп, сталь 20, сталь 30):

$$M_{0(08кп)} = 93,31 - 2,26D - 93s + 1,79\alpha_1 + 0,99Ds - 7 \cdot 10^{-3} D\alpha_1 + 0,55s\alpha_1 + 0,012D^2 + 3,76s^2 - 0,029\alpha_1^2, \quad (15)$$

$$M_{0(сталь20)} = 105,2 - 2,53D - 102,82s + 1,95\alpha_1 + 1,09Ds - 7,71 \cdot 10^{-3} D\alpha_1 + 0,61s\alpha_1 + 0,014D^2 + 4,28s^2 - 0,031\alpha_1^2, \quad (16)$$

$$M_{0(сталь30)} = 115,58 - 2,77D - 112,26s + 2,12\alpha_1 + 1,19Ds - 8,43 \cdot 10^{-3} D\alpha_1 + 0,67s\alpha_1 + 0,015D^2 + 4,72s^2 - 0,034\alpha_1^2. \quad (17)$$

На рис. 19 зображено поверхні відгуку залежності зміни крутних моментів формоутворення вигнутого профілю на стрічковій ГЗ від діаметру ГЗ D , кута нахилу полицки α_1 і товщини витка спіралі s ГЗ зі сталі 08кп та сталі 30.

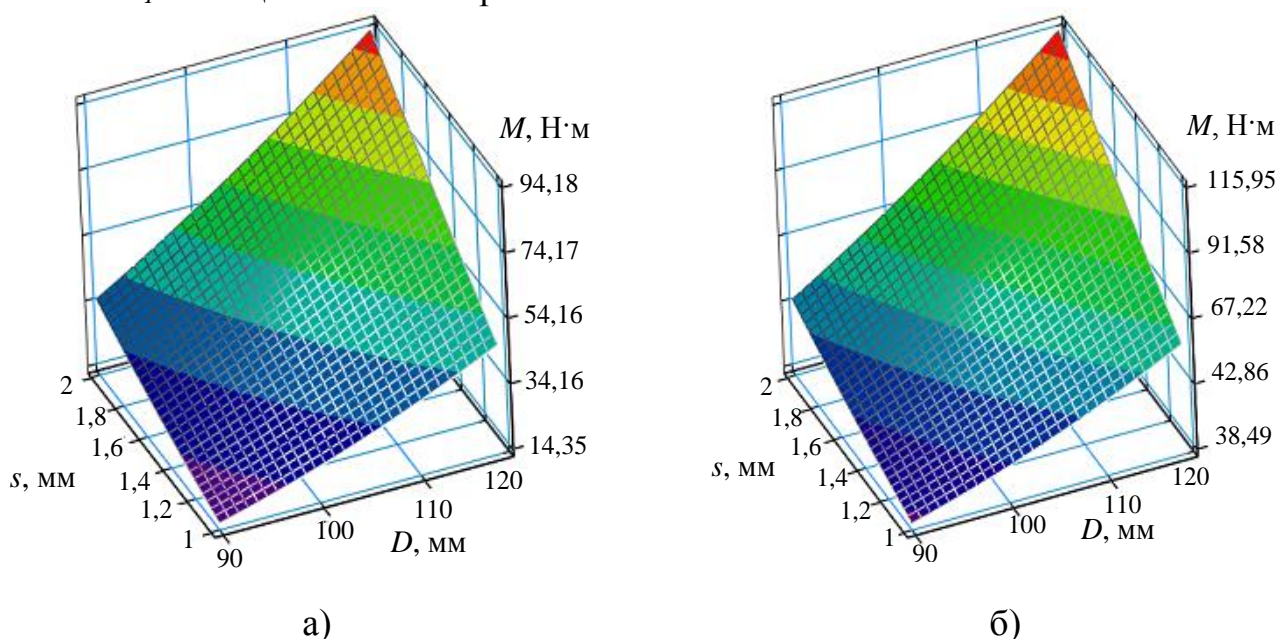


Рис. 19. Поверхні відгуку залежностей зміни крутних моментів формоутворення вигнутого профілю на стрічковій ГЗ від діаметру заготовки D , товщини витка спіралі s : а) сталь 08кп, б) сталь 30

Визначено зміни крутного моменту від діаметру ГЗ D та товщина витка спіралі s , які знаходяться в межах від 14 до 94 Нм для сталі 08кп, від 15 до 104 Нм для сталі 20, та від 18 до 115 Нм для сталі 30 при $\alpha_1 = 25^\circ$. Встановлено, що переважаючими факторами, які впливають на величину крутного моменту, є діаметр

гвинтової заготовки D та товщина витка спіралі s , а кут нахилу полицки α_1 на силові параметри процесу формоутворення вигнутого профілю має менший вплив.

Технологічний процес виготовлення ГЗВП включає операцію проточування зовнішньої крайки, яка дозволяє покращити параметри точності та якості ГЗ. Дослідження процесу проточування здійснювали із наступними параметрами: матеріали – сталь 08кп, сталь 20, сталь 30; діапазон зовнішніх діаметрів ГЗ D від 90 до 120 мм; товщина витка спіралі s від 1 до 2 мм та кут нахилу полицки α_1 від 10° до 45° .

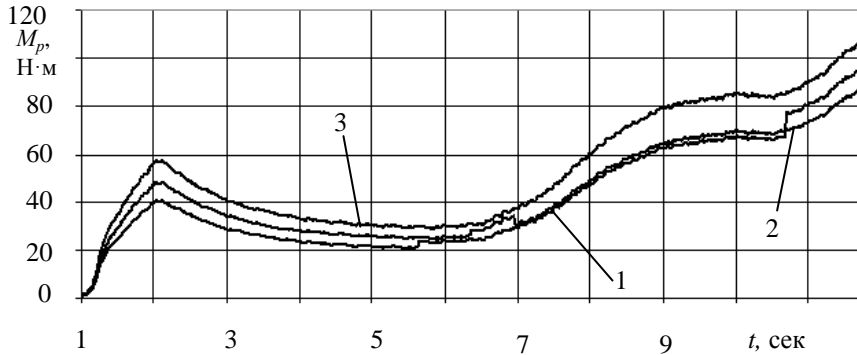


Рис. 20. Залежність зміни крутного моменту M_p в часі t для заготовок з матеріалів: 1) сталь 08кп; 2) сталь 20; 3) сталь 30

різання 150 - 300 м/хв., подача 0,5 – 1,8 мм/об та глибина різання 0,5 - 3,5 мм, для початкової гвинтової заготовки діаметром 90 мм, товщиною витка спіралі 1 мм та матеріалу ГЗ - сталь 08кп, сталь 20 та сталь 30. За результатами проведених експериментальних досліджень побудовані графічні залежності зміни зусилля різання від швидкості різання (рис. 22), подачі (рис. 23) та глибини різання (рис. 24). З аналізу графічних залежностей зміни зусиль різання від швидкості, подачі та глибини

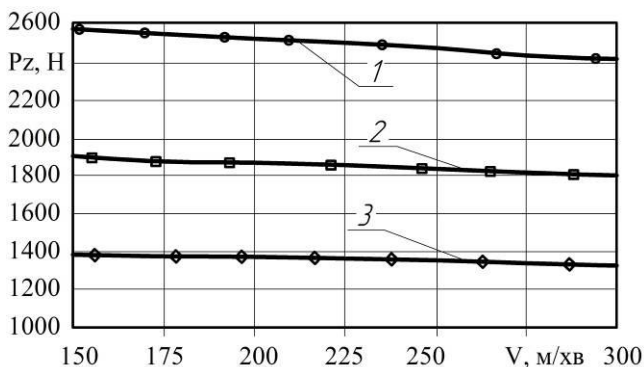


Рис. 22. Залежність зусилля різання від швидкості різання для ГЗ з матеріалів: 1) сталь 30; 2) сталь 20; 3) сталь 08кп

За даними проведених досліджень проточування зовнішньої крайки вигнутого профілю, із застосуванням перетворювача частоти, побудовано графічні залежності зміни крутного моменту M_p в часі t для різних матеріалів заготовок (рис. 20). Процес проточування проведено з наступними режимами: швидкість



Рис. 21. ГЗВП після процесу проточування зовнішньої крайки

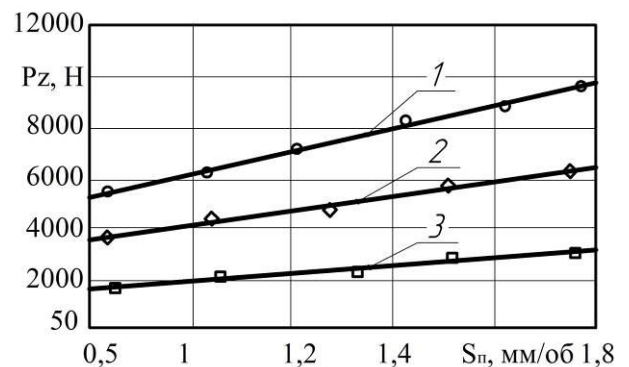


Рис. 23. Залежність зусилля різання від подачі для ГЗ з матеріалів: 1) сталь 30; 2) сталь 20; 3) сталь 08кп

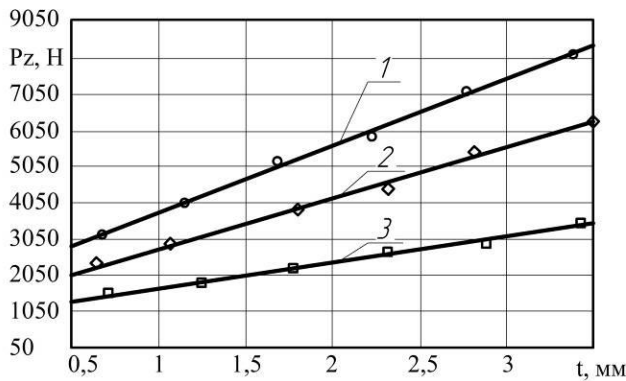


Рис 24. Залежність зусилля різання від глибини різання для ГЗ з матеріалів: 1) сталь 30; 2) сталь 20; 3) сталь 08кп

із збільшенням глибини різання від 1 до 3 мм спостерігається зростання зусилля різання в межах 1000-3000 Н для сталі 08кп, 2000 -6100 Н для сталі 20 і 2900-8300 Н для сталі 30.

У п'ятому розділі за допомогою пакету прикладних програм створено комп'ютерну модель вигнутого профілю на ГЗ. Загальний вигляд моделі та результати моделювання переміщення, напруження і деформації при виготовленні вигнутого профілю на ГЗ представлено на рис. 25.

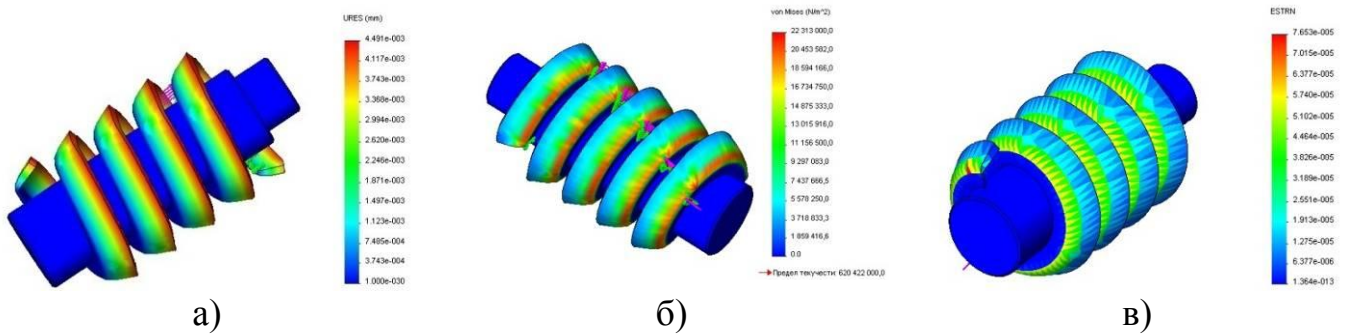


Рис. 25. Результати моделювання переміщення (а), напруження (б), деформації (в) вигнутого профілю ГЗ від прикладеного зусилля

Порівняння теоретичних та експериментальних даних процесу формоутворення вигнутого профілю на ГЗ дозволяє зробити висновок, що різниця між відповідними значеннями зусиль гнуття знаходиться в межах 7-13 %.

Розроблено інженерну методику проектування ГЗ з вигнутим профілем. Зокрема, описано можливі способи виготовлення ГЗВП і представлено технологічні характеристики конструктивних параметрів ГЗВП виготовлених цими способами. Обґрунтовано раціональність виготовлення ГЗВП навиванням по внутрішньому торцевому профілю з стрічкових заготовок з одночасним чи подальшим формуванням полицки. Приведено опис пристосувань для виготовлення профільних ГЗВП.

Здійснено техніко-економічне обґрунтування вибору способу виготовлення ГЗВП. Виробнича собівартість виготовлення 1000 м/п ГЗВП розробленим в дисертаційній роботі способом становить 2000 грн.

різання встановлено, що із збільшенням швидкості різання від 150 до 300 м/хв. зусилля різання спадає на 7-10%, як показано на рис. 22, а із збільшенням подачі в межах від 0,5 до 1,8 мм/об спостерігається збільшення зусилля різання, причому значне зростання виникає при обробленні заготовки із матеріалу сталь 30, яке досягає 9000 Н при максимальній подачі (рис. 23). З аналізу графічних залежностей, зображених на рис. 24, встановлено, що

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 ГЗ 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 α в межах від 10° до 35° момент гнуття гвинтового елемента зростає. Зокрема, для заготовки зі сталі 08кп та при куті нахилу полицки $\alpha = 35^\circ$ 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, оправ 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 оправ 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 проведенного повнофакторного експерименту ПФЕЗ³ 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 α (в межах 10° - 35°). Встановлено, що переважаючими факторами, які впливають на величину крутного моменту є: діаметр ГЗВП D та товщина витка спіралі s , кут нахилу полицки α 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 використанням шнекової оправки, має ряд переваг: менш енергозатратна; забезпечує рівномірне формоутворення вигнутого профілю на ГЗ із забезпеченням необхідної точності кута нахилу α ; 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 300 м/хв. Аналіз результатів експериментальних досліджень процесу проточування зовнішньої крайки ГЗВП для сталі 30, сталі 20 та сталі 08кп свідчить, що підвищення швидкості різання зменшує силу різання, а 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 $1,3^\circ$.

10. На основі зреалізованих 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 окремими способами показав, що виготовлення ГЗВП шляхом навивання стрічкової ГЗ з одночасним чи наступним формуванням полицки є приблизно втричі дешевшим, ніж їх виготовлення іншими способами.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ

Публікації у фахових виданнях:

1. 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 Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. Петра Василенка. – Харків, 2014. – Вип. 151. - С. 194-197. *(Автором наведено методи підвищення надійності та довговічності гвинтових робочих органів).*

2. Гупка А. Б. Шнекові очисники дискових копачів коренеплодів з Г-подібними спіралями / І. Б. Гевко, В. В. Васильків, А. Б. Гупка // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. Петра Василенка. – Харків, 2015 – Вип. 156. - С. 519-526. *(Автором розроблено удосконалену конструкцію шнекового очисника дисків копачів з Г-подібними спіралями).*

3. 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. *(Автором запропоновано технологічний процес формоутворення гвинтових заготовок).*

4. 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. *(Автором досліджено силові параметри формоутворення гвинтових заготовок для очищення дисків копачів).*

5. Гупка А. Б. Дослідження технологічного процесу розточування профільних гвинтових заготовок очисників дискових копачів коренезбиральних машин / В. З. Гудь, А. Є. Дячун, А. Б. Гупка // Вісник Житомирського державного технологічного університету, Серія: Технічні науки. – Житомир, 2015. - Вип. 1 (72).- С. 21-26. *(Автором досліджено технологічний процес розточування гвинтових заготовок очисників дискового копача).*

6. Гупка А. Б. Технологічні методи забезпечення експлуатаційної надійності важконавантажених пар тертя сільськогосподарських машин / Б. В. Гупка, А. Б. Гупка // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. Петра Василенка. – Харків, 2014 – Вип. 151. - С. 254-258. *(Автором обгрунтовано вибір найбільш ефективних технологічних засобів підвищення зносостійкості робочих поверхонь пар тертя ГЗВП)*

7. Гупка А. Б. Обгрунтування 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. *(Автором розроблена конструкція переналагоджувального кондуктора для свердління отворів)*

Тези конференцій та семінари:

8. Гупка А. В. Investigating the force parameters of forming the screw purifying elements / Iv. B. Nevko, A. Y. Dychun, A. V. Gupka // Materials international symposium

ISB – INMA THE «Agricultural and mechanical engineering», 29-31 October 2015 p. – Bucharest, 2015. – P. 191-196.

9. Гупка А. Б. Трибологія важконавантажених деталей викопуючих органів коренезбиральних машин / А. Б. Гупка // Всеукраїнська студентська науково-технічна конференція „Природничі та гуманітарні науки. Актуальні питання“, 23 квітня 2015 р.: тези допов. – Тернопіль: ТНТУ, 2015. – С. 154 – 155.

10. 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.: тези допов. – Тернопіль: ТНТУ, 2011. - С. 87.

11. Гупка А. Б. Дослідження абразивного зношування різальних елементів / А. Б. Гупка // Матеріали II Всеукраїнської студентської науково-технічної конференції „Природничі та гуманітарні науки. Актуальні питання“, 23-24 квітня 2009 р. -Т.: ТДТУ, 2009. -Том 1. -С. 193.

Деклараційні патенти:

12. Пат. 95391 Україна, МПК А01D 25/02 Дисковий копач коренеплодів / Гевко Б.М., Гупка Б.В.Гудь В.З., Гупка А.Б., Дячун А.Є - № u201406788; заявл. 16.06.2014; опубл. 25.12.2014, бюл. № 24. (*Частка всіх авторів однакова*)

13. Пат. 44468 Україна, МПК В21D 11/06 Пристрій для виготовлення профільних гвинтових елементів / Гупка А.Б., Палюх А.Я., Гевко Ів.Б., Ляшук О.Л., Івасечко Р.Р. заявники і патентовласники Гупка А.Б., Палюх А.Я., Гевко Ів.Б., Ляшук О.Л., Івасечко Р.Р. - № u200902594; заявл. 23.03. 09; опубл. 12.10. 09, Бюл. № 19. (*Частка всіх авторів однакова*).

14. Пат. 44148 Україна, МПК (2009) G01M 13/00, В65G 33/00 Стенд для дослідження навантаження на витки гвинтової пари гвинтового механізму / Гевко Ів.Б., Ляшук О.Л., Дзюра В.О., Гупка А.Б., Диня В.І., Шевчук О.С., Брощак І.І., Любачівський Р.О. заявники і патентовласники Гевко Ів.Б., Ляшук О.Л., Дзюра В.О., Гупка А.Б., Диня В.І., Шевчук О.С., Брощак І.І., Любачівський Р.О. - № u200902118; заявл. 11.03. 09; опубл. 25.09. 09, бюл. № 18. (*Частка всіх авторів однакова*).

15. Пат. 98904 Україна, МПК В21D 11/06 Пристрій для навивання гвинтових ущільнюючих і стопорних елементів механізмів / Дячун А.Є, Ляшук О.Л., Гупка А.Б., Гевко Іг.Б., Кучвара І.М. заявники і патентовласники Дячун А.Є, Ляшук О.Л., Гупка А.Б., Гевко Іг.Б., Кучвара І.М. - № u201412904; заявл. 02.12.2014; опубл. 12.05.2015, бюл. № 9. (*Частка всіх авторів однакова*).

Фахові видання та публікації в закордонних збірниках:

16. Гупка А.Б. Исследование силовых параметров формообразования профильных винтовых элементов / И. Б. Гевко, И. Н. Кучвара, А. Є. Дячун, А. Б. Гупка // MOTROL. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture. – Lublin, 2015. – Vol. 17, no 7. – P. 111-116. (*Автором виведені аналітичні залежності для визначення силових параметрів процесу навивання и конструктивних параметрів технологічного обладнання. Входить у наукометричні бази: Argo, та Index Copernicus*).

АНОТАЦІЯ

Гупка А.Б. Технологічне забезпечення виготовлення стрічкових гвинтових заготовок з вигнутим профілем. - На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.02.08 - технологія машинобудування. - Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Тернопіль, 2016.

Дисертаційна робота присвячена проектуванню та виготовленню технологічного устаткування, робочого інструменту для реалізації технологічного процесу виготовлення стрічкових гвинтових заготовок з вигнутим профілем. Для вирішення поставлених задач проведено комплекс теоретичних та експериментальних досліджень процесу формоутворення ГЗВП із використанням спеціального технологічного устаткування та інструменту. Виведено аналітичні залежності для визначення силових параметрів формоутворення ГЗВП за допомогою формувальних роликів залежно від конструктивних параметрів і матеріалу заготовки. Виведенні аналітичні залежності розрахунку складових зусиль процесу формоутворення ГЗВП в гарячому та холодному станах методом навивання на оправу профільної стрічки, встановлено величину напружень в зоні пластичної деформації вигнутого профілю та визначено енергосилові і конструктивні параметри залежно від кута нахилу полички, товщини витка спіралі, ширини полички та матеріалу гвинтової заготовки. Досліджено динаміку процесу проточування зовнішньої крайки гвинтової стрічкової заготовки з вигнутим профілем, що дозволило визначити основні силові параметри процесу проточування та встановити характер зміни величини деформації складових технологічної системи.

Ключові слова: технологічний процес, гвинтові заготовки, гвинтові заготовки з вигнутим профілем, спосіб, формоутворення, проточування, технологічне устаткування, інструмент.

АННОТАЦИЯ

Гупка А.Б. Технологическое обеспечение изготовления ленточных винтовых заготовок с изогнутым профилем. - На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.02.08 - технология машиностроения. - Тернопольский национальный технический университет имени Ивана Пулюя, Тернополь, 2016.

Диссертация посвящена проектированию и изготовлению технологического оборудования, рабочего инструмента для реализации технологического процесса изготовления ленточных винтовых заготовок с изогнутым профилем. Для решения поставленных задач проведен комплекс теоретических и экспериментальных исследований процесса формообразования ВЗИП с использованием специального технологического оборудования и инструмента. Выведены аналитические зависимости для определения силовых параметров формообразования ВЗИП с помощью формовочных роликов в зависимости от конструктивных параметров и материала заготовки. Выведены аналитические зависимости расчета составляющих усилий процесса формообразования ВЗИП в горячем и холодном состояниях методом навивки вставной профильной ленты, установлено величину напряжений в

зоне деформации изогнутого профиля и определены энергосиловые и конструктивные параметры в зависимости от угла наклона полочки, толщины витка спирали, ширины полки и материала винтовой заготовки. Исследована динамика процесса проточки внешней кромки ленточной винтовой заготовки с изогнутым профилем, что позволило определить основные силовые параметры процесса проточки и установить характер изменения величины деформации составляющих технологической системы.

Экспериментально установлено, что преобладающими факторами, которые влияют на величину крутящего момента при формообразовании изогнутого профиля на ленточной винтовой заготовке, является диаметр винтовой спирали и толщина витка спирали, угол наклона полочки на силовые параметры процесса формообразования изогнутого профиля имеет незначительное влияние. Разработана методика выбора конструктивных элементов технологического оборудования и инструмента, экономически обоснована эффективность навивки ленточной заготовки с одновременным или последующим формированием изогнутого профиля на винтовой заготовке, что примерно в три раза дешевле, чем ее изготовление другими способами.

Ключевые слова: технологический процесс, винтовые заготовки, винтовые заготовки с изогнутым профилем, способ, формообразование, проточка, технологическое оборудование, инструмент.

ABSTRACT

Gupka A.B. Technological support of manufacturing screw conveyor pieces of a curved profile. - The manuscript.

The thesis for the degree of Candidate of Sciences (Engineering) in specialty 05.02.08 - Mechanical Engineering Technology – Ternopil Ivan Pul'uj National Technical University, Ternopil, 2016.

The thesis is devoted to the design and manufacture of technological equipment, tools for implementation of technological process of manufacturing screw conveyor pieces of a curved profile. To solve the set goals, the complex theoretical and experimental studies of SCCP (screw conveyor piece of a curved profile) formation by means of special technological equipment and tools were conducted. The analytical dependences to determine the power parameters of SCCP formation by means of coiler rolls depending on the piece structural parameters and material were developed. The analytical dependences of calculation of component efforts of SCCP formation in hot and cold states by coiling method for setting the profile strip on a framework were developed as well. The value of the stress in the zone of plastic deformation of curved profile was determined. The energy-power and structural parameters in dependence on the declination angle of shelves, spiral thickness, width and material of screw blanks were defined. The dynamics of the process of gnawing through external edge of screw conveyor piece with a curved profile was studied. The main power parameters of the process of gnawing were determined. The nature of changing the value of deformation of technological system constituents was studied.

Keywords: technological process, screw pieces, screw pieces of a curved profile, method, formation, gnawing, technological equipment, instrument.