

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЛЬВІВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»**

ВАСИЛЬКІВ ВАСИЛЬ ВАСИЛЬОВИЧ

УДК621 7.043

**РОЗВИТОК НАУКОВО-ПРИКЛАДНИХ ОСНОВ РОЗРОБЛЕННЯ
ТЕХНОЛОГІЙ ВИРОБНИЦТВА ГВИНТОВИХ І ШНЕКОВИХ ЗАГОТОВОК
З ВИКОРИСТАННЯМ УНІФІКАЦІЇ**

05.02.08 – технологія машинобудування

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня
доктора технічних наук

Львів – 2015

Дисертацією є рукопис

Робота виконана у Тернопільському національному технічному університеті імені Івана Пулюя Міністерства освіти і науки України.

Науковий консультант: доктор технічних наук, професор
Пилипець Михайло Ількович,
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, завідувач кафедри технології машинобудування.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Гурей Ігор Володимирович,
Національний університет “Львівська політехніка”, професор кафедри технології машинобудування;

доктор технічних наук, професор
Ларшин Василь Петрович,
Одеський національний політехнічний університет, професор кафедри технології машинобудування;

доктор технічних наук, професор
Пасічник Віталій Анатолійович,
Національний технічний університет України “Київський політехнічний інститут”, завідувач кафедри інтегрованих технологій машинобудування.

Захист відбудеться 9 грудня 2015 року о 14 год. на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 35.052.06 у Національному університеті “Львівська політехніка” за адресою: 79013, м. Львів, вул. Бандери, 12, навчальний корпус 14, ауд. 61.

З дисертацією можна ознайомитись у науково-технічній бібліотеці Національного університету “Львівська політехніка” за адресою: 79013, м. Львів, вул. Професорська, 1.

Автореферат розіслано 30 жовтня 2015 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради,
кандидат технічних наук, доцент

Ю.П. Шоловій

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Жорстка конкурентна боротьба підприємств в умовах ринкової економіки обумовлює збільшення промислового потенціалу машинобудування України, у номенклатурі якого своєю складністю і трудомісткістю виготовлення вирізняються деталі типу шнеків, які отримують із гвинтових (ГЗ) і шнекових заготовок (ШЗ). Тільки у вартості виготовлення гвинтового транспортно-технологічного механізму до 35% припадає на вартість виготовлення шнекового робочого органу, з яких 25% на виготовлення гвинтової спіралі. Державна програма “Ресурсоощадні та енергоефективні технології машинобудування” ставить завдання створення принципово нових технологій поряд з розвитком і удосконаленням існуючих, до яких слід віднести і виготовлення згаданих заготовок. Наукоємне і енергоощадне виробництво таких заготовок та розширення їх конструктивної різноманітності стимулює розвиток багатьох галузей промисловості, де використовують такі гвинтові вироби. Питома вага гвинтових транспортно-технологічних механізмів у завантажувально-розвантажувальних операціях досягає 40 – 45%. Вирішальне значення у підсиленні конкурентних позицій відіграє здатність до постійного оновлення продукції, яке базується на втіленні системних методів розроблення технологічних процесів (ТП) та конструкцій технологічного спорядження для їх реалізації з урахуванням технологічних можливостей конкретного підприємства. Параметрична стандартизація таких заготовок та уніфікація ТП їх виготовлення є основою для створення гармонізованих вітчизняних стандартів, зменшення термінів підготовки виробництва, сприяє випуску взаємозамінної продукції, в тому числі для імпортозаміщення, розширення експортних можливостей в умовах членства України в СОТ і Європейському Союзі.

Таким чином, проблема розроблення, уніфікації, вибору та впровадження нових конструкцій і енергоефективних, ресурсоощадних технологій виготовлення ГЗ і ШЗ з урахуванням технологічних можливостей та типу виробництва є актуальною.

Зв’язок роботи з науковими програмами, планами, темами. В основу дисертації увійшли результати досліджень, отримані здобувачем при роботі над держбюджетними темами ТНТУ ім. І. Пулюя, які відповідають пріоритетним напрямкам наукових досліджень України: “Розробка та дослідження технологій формоутворення профільних гвинтових елементів технічного обладнання”, № держ. реєстр. 0104U000640 (2005 – 2006 рр.), “Автоматизоване проектування технологічних інновацій на основі розробки та використання методів уніфікаційного синтезу”, № держ. реєстр. 0107U009227, (2007 – 2008 рр.); “Дослідження методів генетики для аналізу і синтезу технологічних інновацій на прикладі процесів формоутворення широкосмугових гвинтових заготовок”, № держ. реєстр. 0109U002300, (2009 – 2010 рр.); “Уніфікаційний синтез прогресивних способів кінетопластичного формоутворення широкосмугових гвинтових заготовок”, № держ. реєстр. 0111U00258900 (2011 – 2012 рр.), “Розробка та впровадження енергоефективних конструкцій та ресурсозберігаючих технологій виготовлення смугових гвинтових спіралей енергетичних установок” (№ держ. реєстр. 0113U000255), (2013 – 2014 рр.), “Розробка науково-технічної документації на конструкцію і технологію виготовлення робочих елементів багатовиткового гвинтоподібного циклона” (г/д 349 – 14 від 7.07.2014), (2014 р.) в яких дисертант – відповідальний виконавець; “Механіко-технологічні основи проектування

транспортно-технологічних систем коренезбиральних машин”, № держ. реєстр. 0102U002302 (2005 – 2006 рр.), “Розробка теорії та дослідження транспортно-технологічних та перевантажувальних систем з розділеними потоками”, № держ. реєстр. 0105U000742 (2007 – 2008 рр.), “Розроблення конструкцій і технологій виготовлення спеціальних різнопрофільних гвинтових робочих органів машин на основі ресурсозберігаючих технологій”, № держ. реєстр. 0110U002264 (2007 – 2008 рр.), “Енергоефективні гвинтові робочі органи сільськогосподарських машин з розширеними технологічними можливостями”, № держ. реєстр. 0112U002202 (2010 – 2012 рр.), в яких дисертант – виконавець; “Система автоматизованого уніфікаційного синтезу вискоелективних технологічних інновацій”, грант МОН України, № держ. реєстр. 0107U009227 (2007 – 2009 рр.), дисертант-керівник.

Мета і завдання дослідження. Метою дисертаційної роботи є розроблення і реалізація методології синтезу нових конструкцій та енергоефективних і ресурсоощадних технологічних процесів виготовлення ГЗ і ШЗ для підвищення ефективності їх виробництва з урахуванням технологічних можливостей та типу виробництва, параметричної стандартизації заготовок та уніфікації ТП і спорядження для їх виготовлення.

Поставлену мету реалізовано вирішенням таких **задач**:

1. Розробити і реалізувати методологію синтезу нових конструкцій та енергоефективних і ресурсоощадних технологічних процесів виготовлення ГЗ і ШЗ.
2. Запропонувати систему показників технологічності ГЗ і ШЗ, в рамках якої запропонувати нові показники для аналізу, порівняння, вибору і оцінки можливості реалізації різних способів виготовлення таких заготовок. На основі цього запропонувати економіко-математичну модель і методику вибору ефективних ТП виготовлення таких заготовок з урахуванням технологічних можливостей та типу виробництва.
3. Класифікувати конструкції ГЗ і ШЗ та технологічні операції їх виготовлення, в рамках чого дати термінологічне визначення різних видів заготовок та технологічних операцій їх отримання, що є основою для їх уніфікації. На основі цього створити базу даних схем формоутворення, конструкцій інструментів і спорядження, а також типових технологічних операцій виготовлення ГЗ і ШЗ та визначити умови раціонального використання таких технологій на основі системи показників технологічності.
4. Розробити методику ієрархічної структуризації та формалізованого опису за допомогою структурних формул різних конструкцій ГЗ і ШЗ та способів їх формоутворення, для їх синтезу, а також пошуку необхідного устаткування для реалізації таких схем. Синтезувати нові конструкції таких заготовок.
5. На основі урахування моніторингу ринку технологічних методів виготовлення і конструкцій ГЗ і ШЗ створити науково-практичні передумови для параметричної стандартизації ГЗ і ШЗ, що є основою для створення гармонізованих вітчизняних стандартів.
6. Розробити узагальнений технологічний маршрут виготовлення ГЗ і ШЗ у якому втілити принципи уніфікації за рахунок поєднання типових та групових технологічних операцій.
7. На основі методу скінчених елементів виявити закономірності впливу геометричних параметрів початкових заготовок, температури їх нагрівання, мастильних матеріалів та параметрів інструментів на конструктивні параметри ГЗ та енергосилові показники різних технологічних способів їх формоутворення з виробленням рекомендацій щодо їх

ефективного використання.

8. Спроекувати й реалізувати ресурсоекономні та енергоефективні нові способи і технологічне спорядження для виготовлення широковиткових ГЗ і ШЗ.

9. Розробити інженерну методику проектування ТП та конструкторсько-технологічну документацію для виготовлення різнопрофільних ГЗ і ШЗ. Використати результати проведених досліджень для створення нових робочих органів деталей машин типу шнеків.

Об'єкт дослідження – технологічні процеси виробництва гвинтових і шнекових заготовок деталей машин.

Предмет дослідження – науково-прикладні основи структурного аналізу, синтезу та уніфікації конструкцій, схем формоутворення, ТП і спорядження для виготовлення ГЗ і ШЗ.

Методи дослідження – основні положення технології машинобудування та інженерної творчості, методи підтримування прийняття рішень, теорія графів, математична логіка, числення предикатів, елементи комбінаторики, комп'ютерне моделювання. Достовірність результатів експериментальних досліджень ґрунтується на використанні сучасних методик випробувань, а теоретичні дослідження проведені з використанням науково-обґрунтованих розрахункових схем, сучасних математичних методів та обчислювальних засобів.

Наукова новизна одержаних результатів полягає у створенні та реалізації нової концепції розроблення конструкцій і технологій виробництва ГЗ та ШЗ з використанням уніфікації. В рамках такої концепції вперше розроблено:

1) методологію синтезу конструкцій та ресурсощадних і енергоекономних ТП виготовлення широковиткових ГЗ і ШЗ, а також економіко-математичну модель вибору ефективних ТП із бази даних з урахуванням технологічних можливостей і типу виробництва;

2) систему показників технологічності ГЗ і ШЗ, яка є основою для аналізу, порівняння і вибору різних ТП виготовлення таких заготовок, в рамках якої: а) уточнено критерій оцінки процесу навивання стрічки на ребро – коефіцієнт зведеної висоти, який на відміну від відомого враховує вплив температури та фізико-механічних властивостей матеріалу для прогнозування можливості реалізації процесу формоутворення навивних заготовок (НЗ); б) запропоновано критерій оцінювання та встановлено закономірності прогину комбінованої шнекової заготовки (КШЗ) для різних варіантів її закріплення у процесі виготовлення способом холодного навивання смугових заготовок ребром на оправу для забезпечення регламентованого прогину такої заготовки та зменшення її матеріаломісткості;

3) багаторівневу систему класифікації за конструктивно-технологічними ознаками ГЗ і ШЗ та технологій їх виготовлення різними методами з термінологічним визначенням існуючих та можливих видів таких заготовок й технологічних операцій їх отримання, що є основою для їх уніфікації і синтезу, а також уведення та обґрунтування нових понять ШЗ, секційної (СГЗ), накладної, неперервно-секційної (НСГЗ) та ін. видів таких заготовок для їх однозначної ідентифікації;

4) методику ієрархічної структуризації та формалізованого опису конструкцій ГЗ і ШЗ та способів їх формоутворення за допомогою структурних формул, що враховують особливості форми та функціонально-змінні залежності геометричних параметрів і поєднують структурні формули компонування технологічного устаткування з видом заготовки, рухами її ділянок та вид силової дії інструмента на таку заготовку, що є основою параметричного синтезу та пошуку необхідного устаткування для реалізації способів їх виготовлення;

5) модель узагальненого технологічного маршруту (ТМ) виготовлення ГЗ і ШЗ у

якому одночасно втілено принципи уніфікації за рахунок поєднання типових та групових технологічних операцій, що є основою системи інформаційного забезпечення проектування уніфікованих технологій отримання таких заготовок;

б) аналітичні залежності зв'язку параметрів початкових неперервно-секційних заготовок та інструментів із силовими показниками процесу формоутворення та конструктивними параметрами НСГЗ, які отримують способами вальцювання, навивання, гнуття та профілювання, що дозволило розробити інженерну методику проектування таких заготовок;

7) на основі методу скінчених елементів досліджено вплив геометричних параметрів початкових заготовок, температури їх нагрівання, мастильних матеріалів і параметрів інструментів на енергосилові показники процесу формоутворення та конструктивні параметри широковиткових ГЗ які отримують способами вальцювання неперервно-секційних заготовок, навивання ребром на оправу гофрованих й криволінійних та неперервно-секційних заготовок, а також формування СГЗ в штампах із різнопрофільних кільцевих секторних заготовок.

Практичне значення одержаних результатів.

1. Запропоновано нові види заготовок – НСГЗ та ГЗ із замкненими твірними РК-лініями огинаючих крайки витків поверхонь переносу, використання яких розширило номенклатуру та типорозміри нових деталей машин типу шнеків, тим самим збільшивши сфери їх використання.

2. Вперше створена база даних типових технологічних операцій для виготовлення ГЗ і ШЗ із нормативно-довідковими даними, визначеними на основі показників їх технологічності. На основі економіко-математичної моделі запропонована інженерна методика вибору ефективних ТП та програмне забезпечення для розрахунку їх виробничої собівартості.

3. Вперше розроблено наукові передумови для параметричної стандартизації ГЗ і ШЗ, що є основою для створення гармонізованих вітчизняних стандартів.

4. На основі проведених експериментальних випробувань і досліджень запропоновано нові енергоекономні способи, технологічне устаткування та спорядження для виготовлення ГЗ і ШЗ методами оброблення тиском, зварювання, формування з полімерних матеріалів, кераміки і гуми для умов одиничного та дрібносерійного типів виробництв на базі використання існуючого парку універсального та спеціального устаткування. Вироблено практичні рекомендації для реалізації таких технологій. Технічна новизна таких розроблень захищена 74-ма патентами України на винаходи і корисні моделі. Отримані технічні рішення внесено до Державного реєстру завершених технологій (№ держ. реєстр. 0615U000066 (2015 р.)). На цій основі створено нові конкурентоздатні гвинтові робочі органи машин різного службового призначення, технічна новизна яких підтверджена 19-ма патентами України на винаходи і корисні моделі.

5. Розроблена інженерна методика та конструкторсько-технологічна документація для проектування ТП виготовлення навивних, секційних і НСГЗ на основі використання системи параметричного проектування і креслення T-FLEX. Результати досліджень були використані для проектування нових робочих органів тістомісильної машини, очисника коренебульбоплодів, гвинтових конвеєрів, машини для розкидання органічних добрив, а також ребристих труб теплообмінних установок.

6. Запропоновані технології впроваджені у виробництво для отримання гвинтових спіралей шнекових робочих органів, циклонів та ребристих труб теплообмінників на підприємствах ВАТ “Машзавод”, “Універст”, РЕМЗ “Обрій”. Викладені в роботі наукові та практичні результати, методики й рекомендації використовуються у навчальному

процесі на кафедрі “Технології машинобудування” ТНТУ ім. І. Пулюя у викладанні дисциплін “Основи технічної творчості і наукових досліджень”, “Комп’ютерні технології в машинобудуванні”, “Основи наукових досліджень і теорія експерименту” та “Спеціальні методи проектування та виготовлення заготовок”.

Особистий внесок здобувача. В опублікованих роботах автору належать основні ідеї проведених досліджень і наукове обґрунтування основних теоретичних положень. Постановка задач досліджень, формулювання основних положень роботи, опрацювання структури та змісту роботи, аналіз та трактування результатів виконані разом з науковим консультантом.

Апробація результатів дисертації. Основні положення та результати роботи доповідалися і обговорювалися на Всеукр. наук. конф. ТНТУ ім. І. Пулюя (Тернопіль, 2005-2013), Міжнар. наук.-техн. конф. молодих учених та студентів ТНТУ ім. І. Пулюя (Тернопіль, 2012, 2014), Міжнар. наук.-практ. конф. “Проблеми технічного сервісу сільськогосподарської техніки” (Харків, 2005-2006), Міжнар. наук.-практ. конф. “Процеси механічної обробки, верстати і інструмент” (Житомир, 2006); Міжнар. симпозиумах українських інженерів-механіків у Львові (Львів, 2011, 2013), 7-й і 8-й всеукр. молодіжних наук.-техн. конф. “Машинобудування України очима молодих: прогресивні ідеї – наука – виробництво” (Одеса, 2007; Луцьк, 2008), XVII міжнар. наук.-техн. конф. “Достижения и проблемы развития технологий и машин обработки давлением” (Краматорськ, 2011, 2014), IX і X міжнар. наук.-техн. конф. “Современные проблемы машиноведения” (Гомель, 2012, 2014), Міжнар. наук.-техн. конф. “Новые материалы и технологии в машиностроении” (Брянськ, 2010 – 2014), в V-й міжнар. наук.-техн. конф. “Современные проблемы машиностроения” (Томськ, 2008, 2010, 2014), 2-й всеукр. наук.-техн. конф. “Прогресивні технології у машинобудуванні” (Львів-Карпати, 2014, 2015), Міжнар. наук.-техн. конф. “Автоматизация: проблемы, идеи, решения” (Тула, 2010), VII міжнар. наук.-практ. конф. “Инновации в технологиях и образовании” (Велико Тирново, 2014), Міжнар. наук.-техн. конф. “Теоретичні та прикладні задачі обробки металів тиском та автотехнічних експертиз” (Вінниця, 2011), Всеукр. наук.-техн. конф. “Современные информационные технологии, средства автоматизации и электропривод” (Краматорськ, 2012), XIII міжнар. наук. конф. “Сучасні проблеми землеробської механіки” (Вінниця, 2012), на молодіжних інноваційних конкурсах з присудженням наукових грантів та інноваційних та інвестиційних форумах Тернопільської області. В цілому робота обговорювалася та отримала позитивний відгук на 2-й Всеукраїнській науково-технічній конференції “Прогресивні технології у машинобудуванні” (2015) та розширених науково-технічних семінарах ТНТУ ім. І. Пулюя (2015) та Національного університету “Львівська політехніка” (2015 р.).

Публікації. Основні результати досліджень, які відображені в дисертації, опубліковано у 175 публікаціях, з них 2 монографії у співавторстві, 36 статей (10 одноосібних) у фахових наукових журналах і збірниках України, 14 праць (10 одноосібних) у закордонних виданнях, 93 патенти і одне позитивне рішення на винахід, 27 праць (8 одноосібних) у матеріалах і тезах наукових, науково-технічних і науково-практичних конференцій, семінарів та симпозіумів, 2 праці у каталогах інноваційних та інвестиційних пропозицій. Окрім видання включені в такі міжнародні наукометричні бази даних, депозитарії і пошукові системи: Open Academic Journals Index, Index Copernicus, Directory of Research Journals Indexing, ResearchBib, Polska Bibliografia Naukowa, Kubon & Sagner, Genamics JournalSeek, РИНЦ, Google Scholar, CiteFactor Academic Scientific Journals та ін.

Структура та об’єм роботи. Дисертаційна робота містить вступ, 8 розділів, висновки і список використаних джерел. Обсяг основного тексту – 312 стор. Загальний

обсяг дисертації становить 600 стор., вона містить 106 рисунків, 42 таблиці, а також бібліографічний список із 534 найменувань на 55 стор. і 8 додатків на 193 стор.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі розкрито актуальність і доцільність виконання науково-дослідної роботи, сформульовано мету, завдання і методи досліджень. Описано наукову новизну отриманих результатів, їх обґрунтованість, достовірність та практичне значення. Наведено дані про апробацію роботи, публікації, що відображають її зміст, виділено особистий внесок здобувача.

У першому розділі “Сучасний стан досліджень та моніторинг застосування технологічних методів виготовлення ГЗ і ШЗ деталей машин” розглянуто історичні та сучасні аспекти багатоваріантної структури конструктивної реалізації деталей типу шнеків для вирішення різних технічних завдань. Для аналізу конструкцій і ТП виготовлення згаданих заготовок використана уведена автором та описана у 4-ому розділі нова термінологія, що базується на розробленій системі класифікації згаданих заготовок за конструктивно-технологічними ознаками. Показано доцільність введення нових понять для визначення проміжних заготовок у ТП виготовлення таких деталей. На основі аналізу сучасного стану досліджень та моніторингу ринку конструкцій, технологічних методів та устаткування для виготовлення деталей типу шнеків визначено основні проблемні питання їх використання.

В результаті моніторингу ринку технологічних методів, устаткування та спорядження для виробництва ГЗ і ШЗ деталей машин встановлено основні тенденції та співвідношення використання гвинтових виробів та гвинтових спіралей, методів їх отримання та типів виробництв, як в Україні, так і за кордоном. Показано перспективність розширення номенклатури гвинтових спіралей та гармонізації вітчизняних стандартів, які регламентують вимоги до конструктивного виконання та технічні умови на їх виготовлення. Основними проблемними питаннями реалізації існуючих технологій є необхідність у значних виробничих площах через застосування потужного, спеціального, складного і вартісного устаткування й спорядження, які дозволяють отримувати заготовки обмеженої номенклатури та типорозмірів. Крім цього відійшла у минуле епоха широкого використання масового виробництва, поступившись місцем дрібносерійному, що спричинило складність реалізації відомих методів на базі існуючого парку універсального та спеціального устаткування. В процесі проектування технологій виготовлення ГЗ і ШЗ характерним є вплив суб'єктивних факторів, що проявляються у виборі раціональних технічних рішень, оскільки не існує чіткої методики їх вибору. Наявність технологічних обмежень за пластичністю матеріалу обмежують номенклатуру таких заготовок. Членство України в СОТ і Європейському Союзі пов'язано із необхідністю узгодження термінології та розширенням номенклатури конструкційних матеріалів у виробництві гвинтових виробів. Доцільним є визначення економічних марок матеріалів, які найчастіше можна використовувати для виготовлення ГЗ і ШЗ.

Зважаючи на конструктивну різноманітність, систематизовано основні геометричні параметри згаданих та початкових заготовок, які використовують для їх виготовлення. Основними параметрами ГЗ і ШЗ є діаметри D і d зовнішньої і внутрішньої крайок витка, кут $\tilde{\theta}$ нахилу твірної витка відносно поздовжньої осі спіралі, товщина зовнішньої h та внутрішньої H крайок, крок T і висота витка B . В рамках цього уведено новий термін кільцева секторна заготовка (КСЗ), яка являє собою розгортку одного або частини витка на площині. Для виготовлення ГЗ і ШЗ найчастіше можна використовувати початкові заготовки у вигляді смуги товщиною H_0 і шириною B_0 , КСЗ із зовнішнім D_0 і внутрішнім d_0 діаметрами крайок, або вперше розроблених прямо- чи криволінійних неперервно-

секційних заготовок (НСЗ). Останні складаються із кільцевих секційних елементів (КСЕ), які торцями чи зовнішніми або внутрішніми крайками з'єднані пазовими перемичками.

Як свідчить огляд понад 12 тис. літературно-патентних джерел стосовно застосування і виробництва гвинтових виробів, процес їх створення й впровадження успішно триває.

Розробленням та дослідженням таких технологій займалися А.З. Журавльов, В.А. Єгоров, А.Е. Церна, С.Е. Рокотян, В.Е. Гурвіч, Б.М. Гевко, І.Б. Гевко, М.І. Пилипець, І.В. Гурей, Д.Я. Шифрін, А.Ф. Маковкін, Г.В. Усков, С.Ф. Пилипака, Р.М. Рогатинський, В.С. Медведєв, О.Д. Гергет, С.П. Прісяжна, О.П. Реут, В.Р. Каргін, Alain Holeyman, Chris Rorres, Kienzle Otto, Liebermann Howard, Huse John, Matt Darr, Ben Rethmel, Kadoma Yoshiaki, Ota Takeo, Takasaki Mitsuhiro; Murakami Suzuya, Havasi Ferenc, Kaneda Hiroshi; Yanosu Bodasu, Watanabe Nobuhisa, Miyazaki Katsunori, Glawion Helmut; Helmut Glawion, Rosin Erwin, Bolz Norman, Yamada Takeshi, Mckindary Thomas та ін. Синтезом і обґрунтуванням технічних рішень у машинобудуванні присвячені праці А.В. Андрейчікова, Е.М. Гуліди, В.Є. Карпуся, Б.М. Кіндрацького, Ю.М. Кузнецова, В.А. Пасічника, Ларшина В.П. та ін. Зокрема проф. Гевком Б.М. було введено поняття ГЗ (напівфабрикату у формі гвинтової спіралі), профільної ГЗ (з L-, Г і П-подібними профілями поперечного перетину витків), гвинтової гофрованої заготовки (ГГЗ) (з гофрованими витками), а проф. Пилипцем М.І. – навивної заготовки, як одного із різновидів ГЗ, які отримують на операції навивання. Це дозволило розширити сферу використання результатів таких досліджень для отримання зі згаданих ГЗ таких деталей як зубчасті колеса, гайки, тарілчасті пружини, фланці, муфти тощо.

Зважаючи на різноманітність відомих технологічних методів та на значний об'єм робок, встановлено що відсутність системи їх структуризації ускладнює вибір і практичне втілення на виробництві раціональних технічних рішень (застосування має обмежена кількість технологічних способів (~10%)). Для прийняття рішень з ефективного впровадження конкретної технології необхідно знати області її раціонального застосування та технологічні можливості. Використання уніфікованих технологій ускладнене відсутністю довідкових та методичних матеріалів. Значний об'єм експериментальних та теоретичних даних не мають належного узагальнення у вигляді систематизованої бази знань. Існує складність виготовлення ГЗ і ШЗ підвищеної жорсткості із $H < 2$ мм, $T > 1,2D$ і питомою висотою витка $b = B/H > 20$ зі стрічок складного поперечного перетину. Це обмежує номенклатуру нових типів деталей машин типу шнеків, тим самим звужуючи можливі сфери використання таких деталей.

Відсутня єдина термінологія щодо означень конструкцій ГЗ і ШЗ та способів їх виготовлення. Часто використовують різні терміни, які ускладнюють розуміння процесів, не завжди узгоджені з термінологією згідно ГОСТ 18970-84, ДСТУ 2263-93 та ін., а також зарубіжною термінологією.

Визначено основні проблемні питання та намічено шляхи підвищення ефективності отримання ГЗ і ШЗ на основних операціях методів оброблення металів тиском, різанням, литтям металів і сплавів, формування з полімерних матеріалів, кераміки і гуми, зварювання, пошарового синтезу.

На основі проведеного аналізу сформульовано мету і задачі досліджень.

У другому розділі “Програма та методика проведення досліджень” викладено програму, методика та умови проведення досліджень та експериментальної реалізації розроблених методів виготовлення ГЗ і ШЗ, методологію вдосконалення систем проектування та виготовлення таких заготовок, описано розроблену систему показників

їх технологічності, а також використане та розроблене нове технологічне устаткування.

Запропоновано методологію вдосконалення систем проектування та виготовлення ГЗ і ШЗ, яка охоплює метод синтезу нових технічних рішень, методики вибору ефективних ТП з урахуванням технологічних можливостей конкретного виробництва, методичні основи пошукового проектування ГЗ і ШЗ та уніфікацію їх конструкцій і ТП виготовлення.

Дослідження виконувались відповідно до розробленої методології.

Зокрема вперше розроблено систему показників з формулами їх розрахунку для оцінювання технологічності конструкцій ГЗ і ШЗ та особливостей ТП їх виготовлення. Такі, структуровані на групи показники, характеризують: просторову геометричну форму гвинтових спіралей (P_{T1}); профіль поперечного перетину витка (P_{T2}); геометричну форму початкових заготовок (P_{T3}), які використовують для виготовлення ГЗ і ШЗ; фізико-механічні властивості матеріалу заготовок (P_{T4}); технологічний спосіб, устаткування, спорядження та інструмент для формоутворення ГЗ і ШЗ певного розміру (P_{T5}) та економічність ТП (P_{T6})

$P_{T1} = \{\psi, K_T, \dots\}; P_{T2} = \{b, h_H, \dots\}; P_{T3} = \{b_z, \dots\}; P_{T4} = \{F_m, \Pi, \dots\}; P_{T5} = \{K_{B.M.}, \dots, b_M, \tilde{f}\}; P_{T6} = \{K_{V.M.}, \dots\}$, (1)
де ψ – коефіцієнт нерівномірності витягування стрічки за зовнішньою і внутрішньою крайками витка спіралі; K_T – коефіцієнт кроку витка ГЗ: $K_T = T/D$; h_H – коефіцієнт товщини зовнішньої крайки витка; b_z – питома висота поперечного перетину початкової заготовки; F_m – комплексний показник пластичності Гурвіча; Π – показник пластичності тонколистових сталей; $K_{B.M.}$ – коефіцієнт використання матеріалу; b_M – показник технологічності виготовлення НЗ; \tilde{f} – показник величини прогину КШЗ у процесі її виготовлення способом навивання стрічкової заготовки ребром на оправу; $K_{V.M.}$ – коефіцієнт уніфікації ТП.

На основі цього для кожного технологічного способу можна визначити множину граничних значень таких показників, які визначають область його раціональної реалізації. Тому така система дозволяє здійснювати комплексний аналіз конструкцій та оцінювання ефективності та технологічних можливостей способів отримання згаданих заготовок.

У розділі описані умови проведення експериментальних досліджень та комп'ютерного моделювання (на базі програмних продуктів QForm та T-Flex) процесів виготовлення НЗ з початкових прямолінійних, криволінійних смугових, гофрованих та спіральних стрічкових заготовок; вальцьованих ГЗ із початкових НСЗ; СГЗ із початкових КСЗ; виготовлення ГЗ і ШЗ на основі використання технології повітряно-плазмового різання, а також величини прогину КШЗ у процесі її отримання способом навивання стрічкової заготовки ребром на оправу.

Експериментальна реалізація та дослідження розроблених технологій виготовлення ГЗ і ШЗ здійснювалась на втіленні принципів кінетопластичного формоутворення. Тому отримання НЗ здійснювали на токарних верстатах і роликкових профілезгинальних машинах, кованих ГЗ – на висічних ножицях і кувальних машинах, листоштампованих СГЗ – на гідравлічному пресі, гофрованих і гнутих ГЗ – на спеціальній установці мод. НВМ-40, попереднє оброблення кільцевих та КСЗ для отримання СГЗ – на листопркатному реверсивному стані та кривошипному пресі, вирізаних ГЗ і ШЗ – на установці повітряно-плазмового різання, вальцьованих ГЗ – на кувальних вальцях та на спеціально розробленій установці (рис. 1) (Пат. № 65973UA).

У третьому розділі “Методологія структурного синтезу технологічних систем вироб-

ництва гвинтових і шнекових заготовок” описано методологію синтезу нових конструкцій і ТП та технологічного спорядження для їх реалізації. В рамках цього запропоновано: способи структуризації технічних систем на основі виявлення ієрархічної підпорядкованості елементів їх структури, за допомогою структурних формул інформаційну модель опису машинобудівних конструкцій та ТП виготовлення деталей машин, операції перетворення структурних формул, способи генерування та оцінювання важливості альтернатив на основі методу аналізу ієрархій і теорії нечітких множин, а також спосіб оцінювання якості синтезованої технічної системи в цілому. Описано концептуальну схему реалізації згаданої методології синтезу.



Рис. 1. Загальний вигляд експериментальної установки для виготовлення ГЗ

Формалізований опис структури ГЗ, ШЗ, необхідного устаткування і спорядження, які є об'єктами синтезу запропоновано здійснювати за допомогою структурної формули (СФ), яка є позначенням матеріального об'єкту, що містить закріплену інформацію про його структуру і властивості та призначений для передачі й використання з метою відтворення (реалізації) такої інформації на практиці.

Інформаційна модель елемента структури технічного об'єкту є такою

$$\hat{A} = \{G(\tilde{A}), \tilde{P}(\tilde{A}), \tilde{P}^r(\tilde{A})\}, \quad (2)$$

де $G(\tilde{A})$ – позначення закріпленої інформації про структуру технічного об'єкту, призначеної для його відтворення; $\tilde{P}(\tilde{A})$ і $\tilde{P}^r(\tilde{A})$ – це сукупність усіх зовнішніх та внутрішніх морфологічних ознак відповідно проектного і матеріально створеного технічного об'єкту.

При описі структури вказують із яких функціональних підсистем складається об'єкт синтезу і якими можуть бути ці елементи

$$G(\tilde{A}) = \{\tilde{A}, X(\tilde{A})Y(\tilde{B})\}, \quad (3)$$

де \tilde{A} – позначення закріпленої інформації про об'єкт синтезу, яка призначена для передачі і використання у процесі його відтворення (реалізації) на практиці; $X(\tilde{A})Y(\tilde{B})$ – позначення інформації про зв'язок об'єкту з іншим об'єктом.

На цій основі розроблено правила формалізованого опису та кодування характеристик структури технічних об'єктів. При цьому враховано такі категорії інформації про об'єкт синтезу

$$\tilde{P}(A) = \{F(\tilde{A}), P(\tilde{A}), Q(\tilde{A}), V(\tilde{A}), D(\tilde{A}), U(\tilde{A})\}, \quad (4)$$

де $F(\tilde{A})$ – інформація про функції елемента \tilde{A} проектного об'єкту; $P(\tilde{A})$ – інформація про властивості (характеристики) елемента \tilde{A} ; $Q(\tilde{A})$ – множина показників якості (критеріїв якості), які характеризують корисність (раціональність) елемента ієрархії; $V(\tilde{A})$ – інформація про варіанти візуального зображення об'єкта різними методами; $D(\tilde{A})$ – інформація про можливості поєднання елемента з іншими елементами в рамках цілісного об'єкту; $U(\tilde{A})$ – інформація про зовнішні вимоги (вимоги технічного завдання),

які ставлять до елемента та властивостей цілісного об'єкту.

При цьому використано багаторівневу організацію структури, де описують співвідношення між елементами структури, які мають тип "ціле-частина". У цьому зв'язку будь-який елемент структури умовно розглянуто як неподільний або атомарний (термінальний) для ієрархічного рівня, на якому він розміщений. Водночас він є частиною укрупненого блочного елемента, розміщеного на вищому ієрархічному рівні, та є блочним елементом для інших атомарних елементів, які входять у його склад.

На основі такого підходу, наприклад, інформацію про властивості (характеристики) елемента розглянуто як ієрархічну структуру

$$P(\tilde{A}) = \{P1_l^{\tilde{k}} G_n^m(\tilde{A}), \dots, PS_l^{\tilde{k}} G_n^m(\tilde{A}), \dots\}, G \in N, S \in N, \tilde{k} \in N, l \in N, \quad (5)$$

де P – позначення ієрархічної структури властивостей; l – позначення номера варіанта виконання атомарної властивості; m і \tilde{k} – номери груп ієрархічних рівнів атомарної і блочної властивостей; S – номер ієрархічного рівня атомарної властивості елемента \tilde{A} в ієрархічній структурі властивостей; G – номер ієрархічного рівня блочної властивості, у склад якого входить атомарна властивість; n – позначення альтернативи блочної властивості.

Показник $D(\tilde{A})$ є характеристикою взаємодії елемента ієрархії із зовнішнім середовищем, яку виражають через вимоги елементів інших ієрархічних рівнів до властивостей об'єкта уваги. Зовнішні вимоги $U(\tilde{A})$ задають параметрами технічного завдання і вимогами, які висувають до властивостей синтезованих варіантів технічної системи.

Кодове позначення елемента ієрархічної структури (рис. 2) є таким

$$\tilde{A} = \zeta J_i^j \Omega_s^k, \quad (6)$$

де ζ – позначення типу об'єкту синтезу, який ідентифікують такими позначеннями: Z – заготовка, A – технологічна операція, B – технологічне устаткування, O – структурний елемент операції, який змінний в часі, тобто (технологічний перехід, допоміжний перехід, установ, позицію, допоміжний хід, прийом) тощо; J – номер ієрархічного рівня атомарного елемента; i і s – позначення номера варіанта виконання відповідно атомарного та блочного елементів; Ω – номер ієрархічного рівня блочного елемента, у склад якого входить атомарний елемент; j і k – відповідно номери груп ієрархічних рівнів у яких розміщені атомарний і блочний елементи ієрархії.

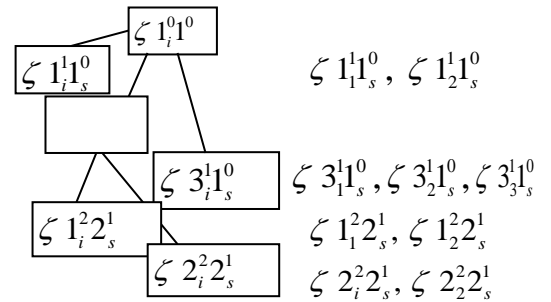


Рис. 2. Граф структури об'єкта синтезу та матриця альтернатив його елементів

Використання показника $V(A)$ забезпечило наявність систематизованої інформації про форму, розміри об'єктів і їх відносне положення в просторі

$$V(A) = \{\zeta J_i^j \Omega_s^k \theta^1, \zeta J_i^j \Omega_s^k \theta^2, \dots, \zeta J_i^j \Omega_s^k \theta^g, \dots\}, \quad (7)$$

де θ – метод зображення об'єкта, зокрема ортогональні проекції згідно ІСО 128-1982, ГОСТ 2.305-68; g – номер площини зображення (проекцій).

Такий показник використаний у методиці візуального подання інформації про об'єкт синтезу на основі принципів параметричного креслення (застосування показника для опису ШЗ наведено нижче на рис. 3).

Для опису характеристик об'єктів використано формальну граматику (фрази Хорна). Відомо, що продукції формальних граматик інтерпретують як логічну модель процесу

синтезу. Такий підхід дозволив використовувати методи вибору альтернатив елементів ієрархії методом продукційних правил, синтезу варіантів комбінацій альтернатив елементів ієрархічних рівнів та розроблення конструктивно-функціональної структури різних технічних об'єктів на основі дослідження їх властивостей та функцій тощо. Класифікація та кодування конструкцій та ТП формує уніфіковану мову опису об'єктів конструювання, проектування технології і виготовлення. Застосування класифікаторів забезпечило підвищення ефективності створення та виготовлення виробів, поліпшення їх якості та конкурентоспроможності завдяки впровадженню методів варіантного проектування конструкцій і ТП. Це дозволило здійснювати визначення наявності об'єкта-аналога на основі використання процедури аналізу та виявлення конструктивно-технологічної спільності виробів на підставі подібності істотних конструктивних і технологічних характеристик.

Розроблено методику декомпозиції технічних об'єктів та ієрархічні рівні на основі існуючих в машинобудуванні принципів структуризації технічних систем з використанням класифікаційних принципів та теоретичних основ модульної технології запропонованої Б.М. Базровим, теорії технологічних комплексів А.А. Нефьодова, способу М.Г. Косова декомпозиції об'єктів на конструктивні елементи.

Розроблено методику опису ТП виготовлення ГЗ і ШЗ за допомогою СФ на основі мереж Петрі, у якій операція і технологічний перехід є переходом мережі Петрі, а отримані проміжні заготовки – станом згаданої мережі. Тобто технологічну операцію виготовлення заготовки у структурі ТП розглянуто як процес змінний у часі. Як частковий випадок формули (6) технологічну операцію описано так $g_t = AJ_i 1_0$, де J – порядковий номер операції у структурі узагальненого ТМ: $J = 2d + 1$, де d – ціле число; 1_0 – номер ієрархічного рівня вищого порядку. Аналогічно статичні системи: заготовку, пристрій тощо описано формулою $g_t = \tilde{\xi} J_i^j F_\rho^\tau$, де $\tilde{\xi}$ – літерне позначення лише типу статичного об'єкту; J – порядковий номер ієрархічного рівня розміщення розглядуваного об'єкту у структурній формулі: $J = 2d$; j – номер групи ієрархічних рівнів; F – номер елементу вищого ієрархічного рівня; τ – номер групи ієрархічних рівнів на якому розміщений елемент F ; ρ – позначення варіанту виконання елементу F . Тоді модель ТП є такою

$$N=(P, T, W), \quad P \cap T = \emptyset, \quad (8)$$

де $P = \{PZ1_i^j F_s^k, PZ2_i^j F_s^k, \dots, PZJ_i^j F_s^k, \dots, PZJ_{\max i}^j F_s^k\}$ – скінченна множина місць (позицій) сітки, яка являє собою множину груп видів початкових, проміжних та кінцевих заготовок у структурі ТП; $T = \{PA1_i^j F_s^k, PA3_i^j F_s^k, \dots, PAJ_i^j F_s^k, \dots, PAJ_{\max i}^j F_s^k\}$ – скінченна множина переходів сітки, яка являє собою множину груп технологічних операцій у структурі ТП; $W \subseteq (P \times T) \cup (T \times P)$ – бінарне відношення інцедентності між місцями і переходами. На основі відношення інцедентності W використано функцію інцедентності

$$\bar{W} : (P \times T) \cup (T \times P) \rightarrow N, \quad (9)$$

де N – множина натуральних чисел.

Кожне місце, тобто група видів початкових, проміжних та кінцевих заготовок являє собою окрему множину варіантів виконання таких заготовок

$$PZ1_i^j F_s^k = \{Z1_1^j F_s^k, Z1_2^j F_s^k, \dots\}, \dots, PZJ_i^j F_s^k = \{ZJ_1^j F_s^k, ZJ_2^j F_s^k, \dots\}, \dots \quad (10)$$

Аналогічно кожний перехід сітки складається з множини варіантів реалізації технологічних операцій

$$PAI_i^j F_s^k = \{A1_1^j F_s^k, A1_2^j F_s^k, \dots\}, \dots PAJ_i^j F_s^k = \{AJ_1^j F_s^k, AJ_2^j F_s^k, \dots\} \quad (11)$$

Така сітка дозволяє наочно зобразити послідовність поетапного перетворення початкової заготовки у ГЗ чи ШЗ та відобразити послідовні стани початкових та проміжних заготовок.

На основі цього запропоновано методику опису ТП за допомогою структурної формули. При цьому морфологічну матрицю варіантів виконання елементів структури технологічної операції описано так

$$\begin{array}{ccc} \text{Структурна формула шаблон} & & \text{Альтернативи елементів структури} \\ & & \text{технологічної операції} \\ PA (J - m)_i^0 1_0 \xrightarrow{PA J_i^0 1_0} & & PZ (J + 1)_i^0 1_0 \\ & & B1_1^1 AJ_i^0 \dots B1_{K_{B1}}^1 AJ_i^0 \\ & & T2_1^1 AJ_i^0 \dots T2_{K_{T2}}^1 AJ_i^0 \\ & & T\xi_1^1 AJ_i^0 \dots T\xi_{K_{T\xi}}^1 AJ_i^0 \\ \xrightarrow{O(\xi+1)_i^1 AJ_i^0} & & O(\xi+1)_1^1 AJ_i^0 \dots O(\xi+1)_{K_{O\xi+1}}^1 AJ_i^0 \\ & & Z(\xi+2)_1^1 AJ_i^0 \dots Z(\xi+2)_{K_{Z\xi+2}}^1 AJ_i^0 \\ & & \dots \\ & & Q(\xi+\phi)_1^1 AJ_i^0 \dots Q(\xi+\phi)_{K_{Q\xi+\phi}}^1 AJ_i^0 \end{array} \quad (12)$$

де $B1_1^1 AJ_i^0, B1_2^1 AJ_i^0, \dots$ – варіанти технологічного устаткування; $T2_1^1 AJ_i^0, T2_2^1 AJ_i^0, \dots$ – варіанти технологічного спорядження; K_{B1} – кількість можливих варіантів технологічного устаткування; $K_{T2}, \dots, K_{T\xi}$ – кількості можливих варіантів виконання технологічного спорядження відповідно виду $T2_1^1 AJ_i^0$ і $T\xi_1^1 AJ_i^0$; $K_{O\xi+1}, K_{O\xi+2}, \dots, K_{O\xi+\phi}$ – загальні кількості варіантів технологічних переходів $O(\xi+1)_1^1 AJ_i^0, O(\xi+3)_1^1 \dots O(\xi+\phi)_1^1 AJ_i^0$; $Z(\xi+2)_1^1 AJ_i^0, Z(\xi+2)_2^1 AJ_i^0 \dots$ – коди варіантів проміжних заготовок виду $Z(\xi+2)_i^1 AJ_i^0$ для операції $PAJ_i^0 1_0$.

Запропоновано способи генерування альтернатив елементів ієрархії. Для перетворення структурної формули об'єкта вдосконалення використано операції генетичних алгоритмів: кросингвер, інверсію, мутацію, вставлення, вилучення і сегрегацію. Показано приклади використання таких операцій для отримання нових способів виготовлення ГЗ та технологічного спорядження. При цьому відбір технічних рішень запропоновано здійснювати в два етапи: а) розрахунок відносної ефективності альтернатив за кожним із ієрархічних рівнів за допомогою оцінювальної функції, яка визначає якість (пріоритет) кожної альтернативи і дозволяє ранжувати альтернативи за ступенем їх придатності; відбір найефективніших альтернатив за кожним із ієрархічних рівнів структури об'єкта синтезу; б) розрахунок інтегральних показників якості в цілому генерованої структури об'єкта синтезу на основі комбінування відібраних альтернатив та використання значень їх оцінювальних функцій.

Визначення ефективності альтернатив на основі використання теорії нечітких множин запропоновано здійснювати у випадку, якщо кінцева множина альтернатив $M = \{\zeta J_1^j \Omega_s^k, \zeta J_2^j \Omega_s^k, \dots, \zeta J_i^j \Omega_s^k, \dots, \zeta J_f^j \Omega_s^k\}$, $i \in [1, f]$ елемента ζJ^j (входить в склад елемента Ω_s^k), розміщеного на J -ому ієрархічному рівні в j -ій групі ієрархічних рівнів

структури об'єкта синтезу характеризується *рівнозначними* скалярними критеріями якості $Q1_i, \dots, Q\tilde{S}_i, \dots$ (тут \tilde{S} – позначення порядкового номера критерію, $Q\tilde{S}_i$ – позначення варіанта \tilde{S} -го критерію для i -ої альтернативи), які *не перебувають в ієрархічній підпорядкованості*.

Тоді кінцевій множині M альтернатив можна поставити у однозначну відповідність кінцеву множину значень оцінювальної функції

$$H(i) = \{H_1(\zeta J_1^j \Omega_s^k), H_2(\zeta J_2^j \Omega_s^k), \dots, H_i(\zeta J_i^j \Omega_s^k) \dots H_f(\zeta J_f^j \Omega_s^k)\}, \quad (13)$$

де f – кількість значень оцінювальної функції, яка рівна кількості альтернатив.

Більшому значенню $H_i(\zeta J_i^j \Omega_s^k)$ із множини H відповідає краща альтернатива $\zeta J_i^j \Omega_s^k$.

Оцінювальна функція, яка визначає відношення переваги альтернативи $\zeta J_i^j \Omega_s^k$ за усіма критеріями має вигляд

$$H_i(\zeta J_i^j \Omega_s^k) = \min \{ \mu_1(i), \mu_2(i), \mu_3(i), \dots, \mu_{\tilde{S}}(i) \}. \quad (14)$$

де функцію приналежності за критерієм, який має мати мінімальне значення для i -ої альтернативи визначено так

$$\mu_{\tilde{S}}(i) = \begin{cases} 1 - \frac{Q\tilde{S}_i(\zeta J_i^j \Omega_s^k) - (Q\tilde{S}_i)_{\min}}{(Q\tilde{S}_i)_{\max} - (Q\tilde{S}_i)_{\min}}, & \forall Q\tilde{S}_i(\zeta J_i^j \Omega_s^k) - Q(\tilde{S}_i)_{\min} \leq \Delta Q_{\tilde{S}}, \\ 0 & \end{cases} \quad (15)$$

а для критерію, який має мати максимальне значення

$$\mu_{\tilde{S}}(i) = \begin{cases} 1 - \frac{(Q\tilde{S}_i)_{\max} - Q\tilde{S}_i(\zeta J_i^j \Omega_s^k)}{(Q\tilde{S}_i)_{\max} - (Q\tilde{S}_i)_{\min}}, & \forall (Q\tilde{S}_i)_{\max} - Q\tilde{S}_i(\zeta J_i^j \Omega_s^k) \leq \Delta Q_{\tilde{S}}, \\ 0 & \end{cases} \quad (16)$$

де $Q\tilde{S}_i(\zeta J_i^j \Omega_s^k)$ – значення \tilde{S} -го скалярного критерію для i -ої альтернативи, розміщеної на J -ому ієрархічному рівні в j -ій групі ієрархічних рівнів об'єкта синтезу; $(Q\tilde{S}_i)_{\max}, (Q\tilde{S}_i)_{\min}$ – максимальне й мінімальне значення \tilde{S} -го критерію; $\Delta Q_{\tilde{S}}$ – припустиме сходження за \tilde{S} -им критерієм.

Оптимальну альтернативу (пріоритетний елемент), яка розміщена на J -ому ієрархічному рівні визначено так

$$i_{opt} : H(i_{opt}) = \max_{1 \leq i \leq f} H(i) = \max_{1 \leq i \leq f} \min \{ \mu_1(i), \mu_2(i), \mu_3(i), \dots, \mu_{\tilde{S}}(i), \dots \}. \quad (17)$$

У випадку, коли корисність (раціональність) альтернатив характеризують *ієрархічно структурованими різновагомими (різної важливості) показниками якості* $\{Q1_i^k \tilde{G}_n^m, \dots, Q\tilde{S}_i^k \tilde{G}_n^m, \dots\}$, які конкретизують так звану нечітку мету вибору пріоритетної альтернативи, то визначення ефективності альтернатив рекомендовано здійснювати методом аналізу ієрархій. Тоді значення оцінювальної функції, записаної у вигляді (14) являтимуть собою елементи вектора локальних пріоритетів альтернатив у якому

$$H_1(\zeta J_1^j \Omega_s^k) + H_2(\zeta J_2^j \Omega_s^k) + \dots + H_i(\zeta J_i^j \Omega_s^k) + \dots + H_f(\zeta J_f^j \Omega_s^k) = 1, \quad (18)$$

де кількість компонентів вектора локальних пріоритетів, яка рівна кількості альтернатив.

Пріоритетну альтернативу визначено за формулою $i_{opt} : H(i_{opt}) = \max_{1 \leq i \leq f} H(i)$.

Для спрощення процедури експертного оцінювання та розрахунку ефективності синтезованих альтернатив на основі методу аналізу ієрархій створено програму в середовищі пакету T-FLEX CAD.

Розрахунок інтегральних показників якості синтезованих структур запропоновано здійснювати за розрахованими значеннями оцінювальної функції пріоритетної альтернативи кожного елемента ієрархічної структури об'єкта синтезу, використовуючи теорію логіки антонімів Я.Я. Голоти. Тому спосіб оцінки цілісного об'єкту залежить від виду зв'язків між елементами його структури.

Для випадку зв'язку з послідовним розміщенням елементів $C \leftrightarrow \zeta J_i^j \Omega_s^k \gamma \zeta (J+1)_i^j \Omega_s^k \gamma \dots \gamma \zeta (J+m)_i^j \Omega_s^k \gamma \dots \gamma \zeta \tilde{J}_i^j \Omega_s^k$ (у структурних формулах $\zeta = A$ або $\zeta = O$) інтегральний показник якості визначено так

$$H(C) = -\log_2 \left[1 - \prod_{J=1}^m (1 - 2^{-f_J H_{i_{opt}}(\zeta J_i^j \Omega_s^k)}) \right], \quad (19)$$

де f_J – ваговий коефіцієнт пріоритетної альтернативи, розміщеної на J -му ієрархічному рівні; i_{opt} – номер пріоритетної альтернативи на J -му рівні.

Для випадку зв'язку з паралельним розміщенням елементів (у структурних формулах $\zeta = B$, або $\zeta = T$ чи $\zeta = Z$) інтегральний показник якості є таким

$$H(C) = \sum_{J=2}^m f_J H(\zeta J_i^j \Omega_s^k). \quad (20)$$

Розрахунок інтегральних показників якості поєднують із операціями над структурними формулами відповідно до розробленого алгоритму реалізації методу синтезу.

У четвертому розділі “Науково-практичні засади уніфікації конструкцій та технологічних процесів виготовлення гвинтових і шнекових заготовок” викладені основні результати структуризації, формалізованого й математичного опису та систему термінологічного визначення різних конструктивних варіантів виконання таких заготовок та технологічних операцій їх виготовлення, описано узагальнений технологічний маршрут з типовими і груповими операціями, що є основою для їх уніфікації та синтезу.

Зважаючи на конструктивну різноманітність ГЗ і ШЗ й використовуючи фасетний метод класифікації згідно ГОСТ17369-78, вперше розроблена їх класифікація в якій виділено структурні частини у вигляді класів, підкласів, груп, підгруп та видів.

Вона характеризується багаторівневою структурою, кожний із елементів якої деталізують групами ієрархічних рівнів нижчого порядку, що дозволило використовувати її для вирішення задач синтезу нових конструктивних реалізацій згаданих заготовок.

Відповідно до такої класифікації на основі розробленої методології структурного синтезу конструкцію заготовки у формалізованому вигляді описано так

$$\underbrace{PZJ_i^1 1_0 - PZJ_i^2 1_0 - PZJ_i^3 1_0 - PZJ_i^4 1_0}_{\text{клас}} - \underbrace{PZJ_i^5 1_0 - PZJ_i^6 1_0 - PZJ_i^7 1_0 - PZJ_i^8 1_0}_{\text{підклас}} - \underbrace{-PZJ_i^9 1_0 - PZJ_i^{10} 1_0 - PZJ_i^{11} 1_0}_{\text{група}} - \underbrace{-PZJ_i^{12} 1_0 - PZJ_i^{13} 1_0}_{\text{підгрупа}} - \underbrace{-PZJ_i^{14} 1_0}_{\text{вид}}, \quad (21)$$

де J – номер ієрархічного рівня; 1, 2, ..., 14 – номери груп ієрархічних рівнів; $J_i^1 1_0$ – конструктивний варіант форми заготовки; $J_i^2 1_0$ – варіант міжвиткового об'єму; $J_i^3 1_0$ –

різновид навивки витків; $J_i^4 1_0$ – напрямок навивки; $J_i^5 1_0$ – конструктивний варіант заготовок, який визначають за особливостями розміщення поверхонь витка відносно опорного елемента; $J_i^6 1_0$ – особливість форми витка; $J_i^7 1_0$ – конструктивні варіанти виконання витків за їх довжиною; $J_i^8 1_0$ – особливості виконання поверхонь витка; $J_i^9 1_0$ – характеристика ширини (висоти) профілю поперечного перетину витка; $J_i^{10} 1_0$ – характеристика товщини профілю поперечного перетину витка; $J_i^{11} 1_0$ – характеристика матеріалу витка; $PZJ_i^{12} 1_0$ – позначення поверхні, яка огинає зовнішню крайку витків; $PZJ_i^{13} 1_0$ – позначення поверхні, яка огинає внутрішню крайку витків; $PZJ_i^{14} 1_0$ – форма профілю поперечного перетину витка; i – індекс що деталізує варіант конкретного технічного рішення (використовують для вирішення задач синтезу конструкцій).

Для ідентифікації конструкції ГЗ чи ШЗ необхідно вибрати один із варіантів технічного рішення у кожній групі ієрархічних рівнів. Це дозволяє однозначно їх ідентифікувати за конструктивним виконанням. Наприклад, формулою $\underbrace{PZ1_i^1 1_0 - PZ1_i^2 1_0 - PZ1_i^3 1_0 - PZ1_i^4 1_0}_{\text{клас}} - \underbrace{PZ1_i^5 1_0 - PZ3_i^6 1_0 - PZ1_i^7 1_0 - PZ1_i^8 1_0}_{\text{підклас}} - \underbrace{PZ1_i^9 1_0 - PZ1_i^{10} 1_0 - PZ1_i^{11} 1_0}_{\text{група}} - \underbrace{PZ1_i^{12} 1_0 - PZ1_i^{13} 1_0 - PZ1_i^{14} 1_0}_{\text{підгрупа}}$ ідентифіковано ГЗ ($PZ1_i^1 1_0$) так: з постійним міжвитковим об'ємом ($PZ1_i^2 1_0$) з відкритою навивкою витків ($PZ1_i^3 1_0$) і правим напрямком ($PZ1_i^4 1_0$) навивки (клас), пряма ($PZ1_i^5 1_0$), фасонна ($PZ3_i^6 1_0$), секційна ($PZ1_i^7 1_0$), гладка ($PZ1_i^8 1_0$) (підклас), широкосмугова ($PZ1_i^9 1_0$), товсто-виткова ($PZ1_i^{10} 1_0$) з металічного матеріалу ($PZ1_i^{11} 1_0$) (група), із зовнішньою та внутрішньою крайками витків, яку огинають циліндричні поверхні обертання ($PZ1_i^{12} 1_0, PZ1_i^{13} 1_0$) (підгрупа), із стрічковим з двома осями симетрії профілем ($PZ1_i^{14} 1_0$) поперечного перетину витка (вид).

На основі дослідження вітчизняної та зарубіжної термінології щодо гвинтових виробів різного функціонального призначення усі складові запропонованої класифікації мають чітке визначення. Зокрема розроблено термінологічну систему уведених нових та існуючих конструктивних варіантів заготовок. Так цільні (монолітні) ШЗ вирізняються наявністю неперервного (довгомірного) або дискретного (секційного) гвинтового тіла, виконаного за одне ціле з охоплюючим чи охоплюваним опорним елементом. Комбіновані ШЗ – це складні заготовки, які характеризуються наявністю кількох, або одного неперервного (довгомірного) чи дискретного (секційного) гвинтового тіла, закріпленого на охоплюючому або охоплюваному опорному елементі. Тобто окремі частини такої заготовки, наприклад, вал (гладкий чи у вигляді цільної ШЗ) і ГЗ отримують з використанням різних матеріалів і(або) технологій з подальшим чи одночасним їх з'єднанням за допомогою зварювання, паяння тощо. Для порівняння необхідно відзначити, що ГЗ мають форму тільки гвинтового тіла (спіралі) без наявності тіла обертання (опорного елемента). У Фасонних ГЗ і ШЗ дотична, яка проведена до будь-якої точки контуру (чи кривої), утвореного(ої) проекцією зовнішньої крайки витка на площину, яка перпендикулярна до поздовжньої його осі не перетинає вказаний контур чи криву. Секційна ГЗ має форму одновиткового гвинтового тіла, розгортка якого на площині являє собою КСЗ, центральний кут якої не перевищує 360 град.

Залежно від величини кута θ' нахилу більшої осі прямокутника у який можна вписати профіль поперечного перетину спіралі відносно її поздовжньої осі виділено витки: $PZ1_i^5 1_0$ – прямі, у яких $\theta' = 90^\circ$; $PZ2_i^5 1_0$ – косі, у яких $15^\circ < \theta' < 90^\circ$; $PZ3_i^5 1_0$ – телескопічні, у яких $0^\circ \leq \theta' \leq 15^\circ, B < H$; $PZ4_i^5 1_0$ – завиті (скручені); $PZ5_i^5 1_0$ –

гвинтоподібні (наприклад, $PZ5_1^5$ – гвинтоподібні скручені із $\theta' = \text{var } i$ $0^\circ \leq \theta' \leq 360^\circ$; $PZ6_1^5$ комбінованої форми (із комбінацією ознак вище згаданих варіантів)). Для термінологічного визначення таких спіралей уведено поняття серединної поверхні витків, яку можна провести через більші осі прямокутників, які описані навколо профілів різних поперечних перетинів витка. Серединна поверхня прямого витка $PZ1_1^5$ здебільшого являє собою поверхню прямого гелікоїда, телескопічного витка $PZ3_1^5$ – циліндричну гвинтову поверхню (стрічку) або поверхню утворену бінормаліями циліндричної гвинтової лінії, а косоного витка $PZ2_1^5$ – поверхню косоного гелікоїда, конволютного гелікоїда чи розгортного гелікоїда (торс-гелікоїда).

На основі таких досліджень розроблено нові типи широкovitкових НСГЗ: накладні, ребристі, фасонні, гофровані та ін.

Втілюючи принципи уніфікації як у виготовленні, так і проектуванні згаданих заготовок розроблено основи їх параметричної стандартизації. Визначені номенклатура (секційні, фасонні, стрічкові, гелікоїдні (довгомірні)), типорозміри і маса ГЗ, які рекомендовано використовувати у виробництві гвинтових і кільцевих виробів різного функціонального призначення. Розміри довгомірних гелікоїдних ГЗ взаємозамінні із розмірами секційних, навивних, стрічкових та фасонних ГЗ.

Градація параметричних рядів побудована відповідно до рядів переважних чисел згідно ГОСТ 8032-84, рядів Ренара, рядів Е Міжнародної електротехнічної комісії та вітчизняних і зарубіжних стандартів, які регламентують розміри гвинтових виробів, трубного прокату, стрічкових заготовок, а також даних, які отримані в результаті моніторингу ринку пропозицій гвинтових виробів та узагальнення результатів існуючих наукових напрацювань. При цьому враховано зв'язки відповідності між зовнішнім і внутрішнім діаметрами, кроком, товщиною зовнішньої і внутрішньої крайок витка ГЗ з урахуванням матеріалу заготовки, маси та способу її виготовлення. Діапазон товщини H витків 0,05-40мм, діаметрів D – 40-1000мм, ширини B – 4-500мм. На основі цього розроблено також ряди уніфікованих номінальних значень параметрів стрічкових СГЗ (звичайних фасонних витків та фасонних з відігнутими крайками), вальцьованих і навивних ГЗ.

Запропоновані параметричні ряди розмірних характеристик і маси ГЗ сприяють зменшенню надмірно великої номенклатури гвинтових виробів, які подібні за конструктивним виконанням і відрізняються за призначенням, а також є основою для розроблення вітчизняних гармонізованих стандартів.

Для проектування ТП виготовлення ГЗ і ШЗ розроблена їх інформаційна модель у якій опис геометрії ГЗ і ШЗ запропоновано здійснювати шляхом структуризації контуру профілю витка на елементарні прямолінійні та криволінійні (радіусні постійної кривини або функціонально змінної кривини) ділянки з позначенням їх геометричних параметрів та урахуванням функціональних залежностей на основі систем позначень фірм “Beshtel GmbH”, “Tomas Conveyor”. Це дозволило синтезувати багатоваріантну структуру нових видів ГЗ, які характеризуються замкненими твірними РК-лініями огинаючих крайки витків поверхонь переносу, чим розширено номенклатуру нових деталей машин типу шнеків, збільшивши сфери їх використання.

Для уніфікації ТП отримання ГЗ і ШЗ розроблено класифікації та системи кодування і термінологічного визначення технологічних операцій виготовлення і оброблення таких заготовок на основі ієрархічної структуризації типу “Технологічний метод – принцип

утворення спіралі – технологічна операція”. При цьому остання складова такої ієрархії також є предметом декомпозиції для опису варіантів його реалізації згідно методології структуризації об’єктів синтезу. Операцію позначено так: $J_f I$ – код технологічної операції; J – код виду ТП за методом оброблення заготовки; f – код підвиду технологічної операції; I – код операції у структурі методу виготовлення.

Вперше розроблено узагальнений ТМ виготовлення ГЗ і ШЗ, який є спільною частиною багатоваріантної структури маршрутів виготовлення різнорідних деталей з гвинтовими поверхнями (гвинтових паль, анкерів, бурів, спіралей циклонів, шнеків, ребристих труб теплообмінників, шнекових роторів вітроенергетичних установок тощо), поєднує типові операції виготовлення конструктивно подібних деталей різних гвинтових виробів та групові операції. В останньому випадку у структурі узагальненого ТМ виділено проміжні заготовки, які входять в групи за конструктивно-технологічною подібністю або за спільністю технологічного устаткування і спорядження, які використовують для їх отримання. Це дозволило урахувати можливості утворення деталей різних типів з ГЗ (фланців, шайб, гайок, зубчастих коліс тощо), а також інтегрувати у ТП виготовлення ГЗ і ШЗ інші відомі ТП (отримання дискових, кільцевих та інших виробів) для формування проміжних заготовок.

З урахуванням формул (7) – (10) розроблено модель такого ТМ

$$\dots \xrightarrow{PA295_i^0 1_0} PZ296_i^0 1_0 \xrightarrow{PA305_i^0 1_0} \dots \xrightarrow{PA325_i^0 1_0} PZ326_i^0 1_0 \xrightarrow{\dots} \dots, \quad (22)$$

де $PA295_i^0 1_0$, $PA325_i^0 1_0$, ... – переходи у мережі Петрі, які являють собою групи технологічних операцій бази даних, що забезпечують отримання $PZ296_i^0 1_0$, $PZ326_i^0 1_0$, ..., тобто відповідних груп конструктивно подібних заготовок, розміщених також у базі даних ($PA295_i^0 1_0$ – формування початкової СГЗ, $PZ296_i^0 1_0$ – отримана початкова СГЗ).

У наведених позначеннях цифрою після символів “ PA ” і “ PZ ” позначено порядковий номер відповідно технологічної операції або вид проміжної заготовки у структурі узагальненого ТП. Індексом “ i ” позначено конкретний варіант реалізації операції чи конструкцію заготовки відповідної групи операцій чи заготовок.

Відповідно до запропонованої моделі визначено зв'язок між технологічними операціями та їх можливим розміщенням в узагальненому ТМ за допомогою матриці суміжності

	...	$PA295_i^0 1_0$	...	$PA355_i^0 1_0$	...	$PA415_i^0 1_0$	...	$PA425_i^0 1_0$	...	$PA495_i^0 1_0$	...	$PA515_i^0 1_0$	...
21 ₁₀₃₄	...	1	...	0	...	0	...	0	...	0	...	0	...
...
21 ₈₇₂	...	1	...	0	...	1	...	0	...	0	...	0	...

(23)

Із матриці бачимо, що, наприклад, кодом $PA415_i^0 1_0$ -21₈₇₂ позначено групу технологічних способів (i), які забезпечують отримання початкової багатовиткової гвинтової заготовки із відкритою навивкою ($PA415_i^0 1_0$) шляхом асиметричного обтискування заготовки (8) на операції № 2172 “Вальцювання”.

На основі виразу (22) отримано структурну формулу, у якій об’єднано в єдиній системі як типові, так і групові операції виготовлення ГЗ і ШЗ. Це дозволило якісно реалізувати два основних методи проектування ТП: метод адресації до уніфікованих (типових і групових) ТП побудований на запозиченні існуючих ТП на основі пошуку деталей – аналогів; метод синтезу ТП побудований на методі В.Д. Цветкова, що орієнтований на різні рівні проектування (рівень маршруту; рівень операції; рівень переходу).

Також, використовуючи вираз (22), за допомогою матриць суміжності встановлено взаємозв'язок між технологічними операціями у структурі моделі узагальненого ТМ їх виготовлення ГЗ і ШЗ та різними видами проміжних заготовок, а також різними видами гвинтових виробів, які отримують зі згаданих ГЗ і ШЗ. Аналогічно визначено групи показників технологічності ГЗ і ШЗ для основних технологічних способів отримання таких заготовок. Це дозволило виділити із великої кількості показників найдоцільніші для ефективного оцінювання технічних можливостей конкретних операцій.

У п'ятому розділі "Інформаційне забезпечення системи проектування технологічних процесів виготовлення гвинтових і шнекових заготовок" розглянуті питання структури бібліотек характеристик та типових технічних рішень компонентів систем технологій виготовлення ГЗ і ШЗ на основі цифрового кодування. Наведено класифікації та розкрито умови раціонального використання методів оброблення металів тиском і різанням, лиття металів і сплавів, формування з полімерних матеріалів, кераміки і гуми, порошкової металургії, пошарового синтезу, складання і зварювання. Цифрове кодування при наявності класифікаційних таблиць, що містять графічне зображення і опис схем оброблення, дозволило однозначно і ефективно задати будь-яку схему, не описуючи її повністю.

Для прийняття рішень з ефективного впровадження конкретної технології виготовлення ГЗ і ШЗ розроблена інформаційна система в рамках якої вирішено такі основні завдання: а) збір, систематизація та аналіз інформації стосовно технологій виготовлення ГЗ і ШЗ; б) автоматизація роботи з класифікаційними ознаками таких технологій, що забезпечує всебічний аналіз їх можливостей і раціональний вибір способу матеріалізації комп'ютерної моделі виробу при вирішенні конкретної технологічної задачі; в) формування бази даних технологічних способів, устаткування і спорядження та їх конструкторсько-технологічних характеристик.

З урахуванням (6), (12) і (22) ТП виготовлення ГЗ і ШЗ структуровано на підсистему "Заготовки" ($\zeta = Z$), із статичними характеристиками та підсистему "Технологічна операція" ($\zeta = A$), складовими елементами якої є такі підсистеми нижчого рівня: "Устаткування" ($\zeta = B$), "Технологічне спорядження", "Інструмент" ($\zeta = T$), "Матеріал зовнішнього фізико-хімічного впливу на зону деформації" ($\zeta = M$), "Технологічні переходи" ($\zeta = O$), "Проміжні заготовки" після реалізації відповідних переходів.

Зв'язок між підсистемами "Заготовка" і "Технологічна операція" описано структурною формулою (22) узагальненого технологічного маршруту. Для кожного методу визначені часткові варіанти технологічного маршруту. Згадані підсистеми утворюють множини варіантів їх реалізації, ієрархічна підпорядкованість та зв'язок між якими згідно класифікації технологічних операцій зображено у таблиці 1. Система кодування технологічних операцій ($\alpha\beta$) побудована на основі класифікатора 1 85 151.

Як показано у таблиці множина операцій на J -ому етапі узагальненого ТМ складається із m -ої кількості підмножин, яка дорівнює кількості технологічних операцій усіх використовуваних технологічних методів

$$AJ = \dots \cup A^{42734} J \cup A \dots \cup A^{21034} J \cup \dots; \quad AJ = \dots \cap A^{42734} J \cap A \dots \cap A^{21034} J \cap \dots = \emptyset$$

Для відповідного класу заготовок ε сукупність зв'язків між елементами двох множин описують функціями відображень $\varphi_1 : Z^\varepsilon (J - m)_1 \rightarrow A^{\alpha\beta} J_1$, $\varphi_2 : Z^\varepsilon (J - m)_2 \rightarrow A^{\alpha\beta} J_2$, $\varphi_k : Z^\varepsilon (J - m)_k \rightarrow A^{\alpha\beta} J_k$, де φ_k функція відображення між елементами двох множин. Математичну модель зв'язків записано у вигляді булевої

матриці $\|S1_{ij}\| = |Z^\varepsilon (J - m)_i \times A^{\alpha_\phi\beta} J_j|$; $\|S2_{ij}\| = |A^{\alpha_\phi\beta} J_j \times Z^\varepsilon (J + 1)_i|$, тобто, наприклад,

$$\|S1_{ij}\| = Z^\varepsilon (J - m) \begin{bmatrix} C_{11} & C_{12} & \dots \\ C_{21} & C_{22} & \dots \\ \dots & \dots & \dots \end{bmatrix} \cdot \begin{matrix} A^{\alpha_\phi\beta} J_1 & A^{\alpha_\phi\beta} J_2 & \dots \end{matrix}$$

Тут елемент матриці $C_{ij}=1$, якщо існує бінарне

відношення (зв'язок) між i -тим елементом множини $Z(J - m)$ та j -им елементом множини $A^{\alpha_\phi\beta} J$ для відповідного класу заготовок ε , у протилежному випадку $C_{ij}=0$.

Таблиця 1

Зв'язок між множинами технологічних операцій та проміжних заготовок з урахуванням класифікації технологічних операцій виготовлення і оброблення ГЗ і ШЗ

Множина проміжних заготовок на $(J - m)$ -ому етапі ТП	Структуризація множини технологічних операцій на J -ому етапі ТП			Множина проміжних заготовок на $(J + 1)$ -ому етапі ТП
	Методи та їх коди α	Операції та їх коди $\alpha_\phi\beta$	Множини $A^{\alpha_\phi\beta} J$ способів, які реалізують $\alpha_\phi\beta$ -ову операцію	
$Z^1(J - m) = \{Z^1(J - m)_i, i = \overline{1, v}\}, \dots$ $Z^\varepsilon(J - m) = \{Z^\varepsilon(J - m)_i, \text{де } i = \overline{1, v}\},$ v – кількість варіантів заготовок; ε – номер класу заготовок	41, 42 Оброблення різанням	42 ₇ 34 Фрезерна з ЧПК	$A^{42_734} J = \{A^{42_734} J_i, i = \overline{1, k_1}\},$ де k_1 – кількість способів реалізації операції фрезерування з ЧПК	$Z^1(J + 1) = \{Z^1(J + 1)_i, i = \overline{1, S}\}, \dots$ $Z^\varepsilon(J + 1) = \{Z^\varepsilon(J + 1)_i, i = \overline{1, S}\}$
	21 Оброблення тиском	21 ₁₀ 34 Навивання	$A^{21_{10}34} J = \{A^{21_{10}34} J_i, i = \overline{1, k_2}\},$ де k_2 – кількість способів реалізації операцій навивання	
...

Статичні об'єкти ТП, такі як “Заготовки”, “Устаткування”, “Технологічне спорядження”, “Інструмент”, “Матеріал зовнішнього фізико-хімічного впливу на зону деформації” розглянуто як складні системи з багаторівневою ієрархічною структурою. Для кожного з них визначено однакові принципи структуризації. Така система спільна для всіх операцій, способів і методів виготовлення ГЗ і ШЗ покладена в основу розроблених класифікацій різних технологічних способів отримання ГЗ і ШЗ, які структуровані за методом виготовлення (пошаровий синтез, лиття, оброблення металів різанням та ін.), технологічною операцією (вальцювання, навивання та ін.) та особливостями конструктивного виконання заготовок (СГЗ, КШЗ, гофровані ГЗ та ін.).

Для створення бібліотеки типових конструкцій статичних об'єктів використано методи А і Е зображень відповідно до СТ СЭВ 363-76 із системою кодування таких зображень згідно (7). На цій основі виконано графічне розбиття технічних об'єктів на ієрархічні рівні для нагромадження даних про об'єкти з різним ступенем деталізації інформації про них, а також для використання в задачах синтезу (рис. 3).

На базі принципів структуризації заготовок та операцій створено базу даних типових технічних об'єктів та їх характеристик.

Для кожного типового i -го технологічного способу визначено граничні

значення відповідних конструктивно-технологічних показників ГЗ і ШЗ згідно (1)

$$P_{T1_{\min i}} = \{\psi_{\min i}^*, K_{T_{\min i}}^*, \dots\}, P_{T1_{\max i}} = \{\psi_{\max i}^*, K_{T_{\max i}}^*, \dots\}, \dots, P_{T5_{\max i}} = \{K_{\text{У.ПІ}}^* \max i, \dots\}. \quad (24)$$

Розроблено економіко-математичну модель і на її основі методику вибору ефективних технологічних операцій з використанням створеної бази даних технологічних операцій та системи показників технологічності, які визначають умови ефективного використання таких операцій.

Функціонал ефективності технологічної операції виготовлення згаданих заготовок для даної програми випуску визначено так

$$F = \alpha_1 m + \alpha_2 \tilde{Z} + \alpha_3 T_0 / V_{ГЗ} \rightarrow \min, \quad (25)$$

де m – приведена матеріаломісткість заготовки одиничного об'єму; \tilde{Z} – приведені витрати на виготовлення заготовки одиничного об'єму; T_0 – основний час виготовлення заготовки одиничної довжини; $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ – коефіцієнти вагомості кожної з складових (приймають за вартістю матеріалу, загальних витрат енергії, машино- і людино-годин праці та особливостей ТП, згідно з методом експертних оцінок); $V_{ГЗ}$ – об'єм тіла витків ГЗ і опорного елемента (для ШЗ).

Варіант устаткування вибирають за умови вирішення системи нерівностей

$$\sum_{i_1=1}^{z_1} B_{i_1} t_{\text{ш.к}i_1} \leq P_1, \dots, \sum_{i_l=1}^{z_l} B_{i_l} t_{\text{ш.к}i_l} \leq P_l, \quad (26)$$

де $t_{\text{ш.к}i_l}$ – норма штучного часу на виготовлення ГЗ або ШЗ із застосуванням l -го типу устаткування; $1, 2, \dots, l$ – індекси типів устаткування, які можна використовувати у виробництві; z_1, z_2, \dots, z_k – кількість технологічних способів впливу на заготовку на устаткуванні даного типу; B_{i_1}, \dots, B_{i_l} – коефіцієнти, які враховують спосіб виготовлення заготовки; P_1, P_2, \dots, P_l – пропускна здатність устаткування одного типу, яке можна використовувати для виготовлення таких заготовок.

З урахуванням (1) і (24), обмеження, які суттєво впливають на вибір варіанту технологічної операції є такими

$$\psi_{\min i}^* \leq \psi \leq \psi_{\max i}^*, \quad K_{T_{\min i}}^* \leq K_T \leq K_{T_{\max i}}^*, \dots, \quad K_{\text{У.ПІ} \min i}^* \leq K_{\text{У.ПІ}} \leq K_{\text{У.ПІ} \max i}^*, \dots \quad (27)$$

На основі такої моделі розроблена методика вибору ефективних ТП. Її реалізують шляхом вибору технологічного маршруту і варіантів технологічних способів реалізації операції виготовлення ГЗ і ШЗ із бази даних. Потім здійснюють: розрахунок показників

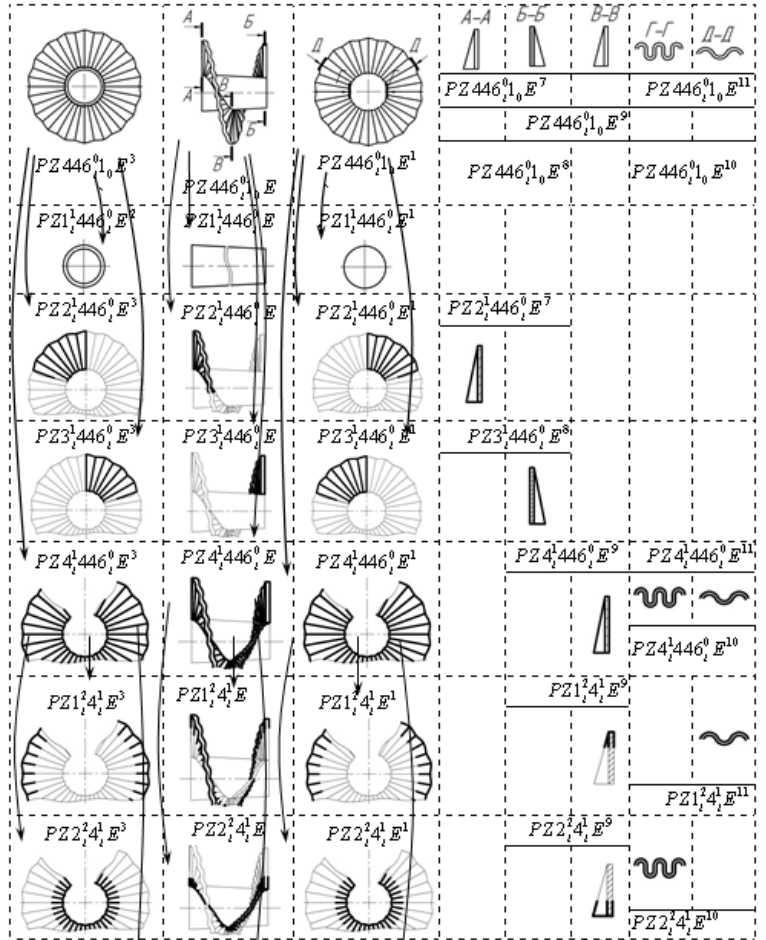


Рис. 3. Фрагмент структуризації цільної ШЗ $PZ446^0_{10}$

технологічності; вибір із бази даних граничних значень показників, які утворюють інтервали доцільної реалізації різних способів; порівняння розрахункових та граничних значень показників технологічності; визначення варіантів устаткування для реалізації розглядуваних операцій з урахуванням затрачуваної потужності; розрахунок поточних витрат та значення цільової функції; перебір варіантів, які найкраще забезпечують реалізацію виразу (25).

Для спрощення розрахунку виробничої собівартості гвинтових виробів було розроблено програму автоматизованого розрахунку, яка передбачає введення вхідних даних (програми випуску, структурну формулу гвинтового виробу, способу виробництва) і поетапне визначення типу виробництва, визначення трудомісткості варіанту ТП і необхідної кількості працівників різних категорій та розрахунок витрат на їх заробітну плату і соціальні відрахування, визначення витрат на матеріали, розрахунок необхідного устаткування і витрат на його утримання та експлуатацію, розрахунок цехової та виробничої собівартості виготовлення ГЗ або ШЗ вказаним способом.

У шостому розділі “Синтез конструкцій ГЗ і ШЗ, технологічних способів, спорядження та інструментів для їх виготовлення” наведено результати параметричного синтезу нових схем формоутворення різнопрофільних ГЗ на основі дослідження аксоїдів інструментів. Описано систему формалізованого опису та синтезу способів формоутворення ГЗ і ШЗ з використанням теорії компонетики, а також створення конструкцій таких заготовок зі складними формами огинаючих крайки витка. Вдосконалено методику структурного еволюційного синтезу необхідного спорядження та інструментів.

Для випадків, коли утворення різнопрофільних ГЗ є наслідком деформації початкової заготовки між двома інструментами, робочі поверхні яких контактують між собою через товщину заготовки, розроблена методика синтезу. При цьому прийнято, що один інструмент обертається зі швидкістю $\dot{\varphi}_1 = const$ навколо нерухомої осі $O-O_1$ а інший – обертається зі швидкістю $\dot{\varphi}_2 = const$ навколо нерухомої осі $O-O_2$ й рухається уздовж неї поступально зі швидкістю $\dot{u}_2(t)$ (рис. 4).

Положення миттєвої гвинтової осі і параметр C_{12} відносного руху інструментів знайдено за формулами

$$\vec{\varphi}_{12} = \vec{\varphi}_1 - \vec{\varphi}_2, \quad \dot{\varphi}_{12} = (\dot{\varphi}_1^2 + \dot{\varphi}_2^2 - 2\dot{\varphi}_1\dot{\varphi}_2 \cos \alpha_5)^{0,5}; \quad (28)$$

$$tg \alpha_{51} = \sin \alpha_5 (\cos \alpha_5 - u_{12})^{-1}, \quad tg \alpha_{52} = \sin \alpha_5 (1 - u_{12} \cos \alpha_5)^{-1}; \quad (29)$$

$$\zeta_{5j} = \dot{u}_2 \sin \alpha_{52} \dot{\varphi}_{12}^{-1}, \quad C_{12} = -\dot{u}_2 \cos \alpha_{52} \dot{\varphi}_{12}^{-1}, \quad (30)$$

де $\dot{\varphi}_{12}$ – кутова швидкість відносного руху інструментів; α_5 – міжосьовий кут; α_{5j} – кут, відлічуваний від осі j -го інструменту до миттєвої гвинтової осі; $j=1, 2$ – індекс інструменту; $u_{12} = \dot{\varphi}_1 / \dot{\varphi}_2$ – передавальне відношення; ζ_{5j} – зміщення миттєвої гвинтової осі відносно осьової площини інструментів.

Вибравши праву ортогональну систему відліку j -го інструменту $OX_jY_jZ_j$ з початком у точці перетину осей, вісь Z_j якої збігається з віссю j -го інструменту, а вісь X утворює із

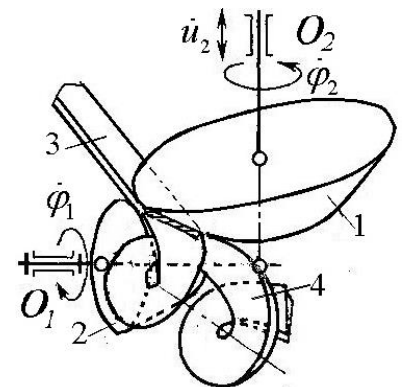


Рис. 4. Схема отримання вальцьованої ГЗ: 1, 2 – вальці, 3 – смуга, 4 – ГЗ

вектором $\vec{\zeta}_{5j}$ кут φ_j , бачимо, що миттєва гвинтова вісь описує в нерухомій системі відліку площину, яка перпендикулярна до осьової площини одного пристрою (нерухомий аксоїд A'), а в системі j -го інструменту – рухомі аксоїди A'_j , які можна визначити так

$$x_j = \zeta_{5j} \cos \varphi_j - b \sin \alpha_{5j} \sin \varphi_j, \quad y_j = -\zeta_{5j} \sin \varphi_j - b \sin \alpha_{5j} \cos \varphi_j, \quad z_j = b \cos \alpha_{5j} + \int_0^t u(t) dt, \quad (31)$$

де b – координата точки аксоїду уздовж миттєвої гвинтової осі.

З (28) – (31) бачимо, що параметри u_{12} , α_5 і $u_2(t)$ однозначно характеризують форми A'_j . Тому розглянувши випадки, коли $\dot{u}_2 = 0$, $\dot{u}_2 = \text{const}$, $\dot{u}_2 = Bt$ ($B = \text{const}$), $\dot{u}_2 = F(t)$ ($F(t)$ – періодична функція) для різних значень α_{5j} визначено основні види лінійчатих поверхонь і горлових точок аксоїдів. Це дозволило синтезувати нові способи формоутворення ГЗ, які реалізовані за допомогою інструментів з робочими поверхнями у вигляді гелікоїдів та гіперболоїдів обертання на операціях профілювання, профілювання з навиванням. Технічна новизна отриманих технічних рішень підтверджена патентами України на винаходи (Пат. України №№ 64533, 54140, 68345, 42572, 68346).

Запропоновано методику синтезу нових конструкцій складно профільних ГЗ і ШЗ підгрупи $PZ1_i^{12}1_0$ шляхом визначення форми плоскої твірної лінії L поверхні обертання, яка огинає зовнішню крайку витків на основі урахування закону зміни кривизни ξ який пов'язаний з кутом нахилу дотичної до такої плоскої лінії. На основі розв'язку диференціальних рівнянь кривизни визначають залежність ширина витка від кутового параметра гвинтової лінії, на основі чого отримують вираз, який описує геометрію ГЗ.

Це було використано в процесі синтезу ГЗ для виготовлення секційного робочого органу гнучкого гвинтового конвеєра. З урахуванням кривини траси транспортування насипного вантажу було визначено кривину огинаючої поверхні зовнішньої крайки спіралі секційного шнека та відповідної ГЗ для його виготовлення.

Вперше розроблена методика формалізованого опису схем формоутворення ГЗ і ШЗ на основі методів компнететики (рис. 5). Вона поєднує інформацію про кількість, склад, напрямок формоутворюючих та допоміжних рухів виконавчих органів технологічного устаткування, а також напрямки рухів і форму ділянок оброблюваної заготовки, принципи її перетворення для утворення спіралі, склад і напрямок рухів робочих поверхонь формоутворюючих інструментів.

Згідно з раніше розробленою системою структуризації об'єктів синтезу оброблювану заготовку у процесі її деформації розглянуто як логічне об'єднання ділянки “Початкова заготовка” (“ P ”), розміщеної перед входом у зону деформації, групи ділянок “ $PP1$ ”, “ $PP2$ ”, ... “Проміжна заготовка”, які обмежені місцем контакту інструмента(ів) (прокатними вальцями; бойком і наковальнею тощо) із заготовкою, а також ділянкою “Сформована гвинтова спіраль” (“ GZ ”). У зонах переходу ділянки “ P ” в ділянку “ PP ”, а також ділянки “ PP ” в ділянку “ GZ ” діють силові фактори, що викликають деформації, а отже і зміну виду ділянки.

З урахуванням координатних переміщень ділянок і форми оброблюваної заготовки її структурна формула є такою

$$Z = P_{fП}^{\varphi_n} \cup PP1_{fPP1}^{\varphi_1} \cup PP2_{fPP2}^{\varphi_2} \dots \cup PP\theta_{fPP\theta}^{\varphi_\theta} \cup GZ^{\varphi_{GZ}} = P_c \cup \left[\bigcup_{j=1}^{\theta} PP\theta_{fPPj}^{\varphi_j} \right] \cup GZ^{\varphi_{GZ}}, \quad (32)$$

де $\varphi_n, \varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_\theta, \varphi_{GZ}$ – позначення переліку координатних переміщень відповідно

ділянок виду “П”, “ПР” та “ГЗ” у системі координат компонування технологічного устаткування; θ – позначення порядкового номеру ділянки “ПР”; $f_{\Pi}, f_{\Pi P_1}, \dots$ – позначення форми відповідних ділянок заготовки, яка обробляється.

Наприклад, можливі такі форми ділянки “П”: P_c – смугова; P_k – плоска кільцева і т.д. Аналогічно варіанти виконання ділянки “Проміжна заготовка” є такими: PP_c – смугова; PP_k – кільцева; PP_{cn} – спіральна; PP_{kc} – кільцева секторна і т.д.

Важливими характеристиками процесу формоутворення ГЗ і ШЗ є вид інструментів, напрямки рухів їх робочих поверхонь та принцип їх впливу на початкову заготовку для її перетворення у гвинтову спіраль

$$I = \{I_{1,i}^{\varphi 1,k_1}, I_{2,i}^{\varphi 2,k_2}, \dots, I_{n-1,i}^{\varphi(n-1)}, I_{n,i}^{\varphi n,k_n}, S_i^{\varphi s}\}, \quad (33)$$

де $I_{1,i}^{\varphi 1}, I_{2,i}^{\varphi 2}, \dots$ – позначення інструментів та координатних рухів їх робочих поверхонь; $S_i^{\varphi s}$ – позначення опорного елемента (оправа, вал); n – кількість інструментів; i – варіант виконання інструменту; $\varphi 1, \varphi 2, \dots, \varphi n, \varphi(n+1)$ – перелік позначень координатних переміщень робочих поверхонь відповідних інструментів у системі координат технологічного устаткування; k_1, k_2, \dots – код принципу впливу інструменту на початкову заготовку для утворення гвинтової спіралі.

З урахуванням (32) і (33) схему формоутворення ГЗ і ШЗ описано структурною формулою компонування технологічного устаткування з урахуванням координатних переміщень робочих поверхонь інструментів та ділянок заготовки, яку обробляють

$$\Phi = \underbrace{\alpha_1 \dots \alpha_m \ 0 \ \alpha_{m+1} \dots \alpha_b}_{\text{структурна формула технологічного устаткування}} \underbrace{P_{f_{\Pi}}^{\varphi n} I_{1,i}^{\varphi 1} I_{2,i}^{\varphi 2,k_2} PP1_{f_{\Pi P_1}}^{\varphi 1} \dots PP\theta_{f_{\Pi P\theta 1}}^{\varphi \theta} I_{n-1,i}^{\varphi(n-1)} I_{n,i}^{\varphi n,k_n} S_i^{\varphi s} GZ^{\varphi GZ}}_{\text{структурна формула, яка описує форму та переміщення робочих поверхонь інструментів та ділянок заготовки, яку обробляють}}, \quad (34)$$

де $\alpha_1 \dots \alpha_m, \alpha_{m+1} \dots \alpha_b$ – позначення рухомих блоків верстату символами координатних рухів, які вони виконують; 0 – позначення стаціонарного блоку.

Важливість такої методики зумовлена урахуванням форми і напрямків рухів ділянок оброблюваної заготовки, які визначають можливість реалізації певного технологічного способу. Крім цього, на основі такого підходу здійснено опис існуючих (рис. 5) та синтез (рис. 6) нових технологічних способів, а також підбір технологічного устаткування для їх реалізації шляхом дослідження множин структурних формул компонувань технологічного устаткування, множини форм і напрямків рухів ділянок заготовки яку обробляють.

Зокрема на основі досліджень варіантів координатних переміщень ділянки “ПР” виділено ряд нових способів формоутворення НЗ. З урахуванням формули (34) на основі способу $P_c^X I_{1,i}^{B_1} I_{2,i}^{B_2,8} PP1_K^C I_{3,i}^{U,11} GZ^{Z,C_h}$ отримання вальцьованих ГЗ синтезовано структурну формулу

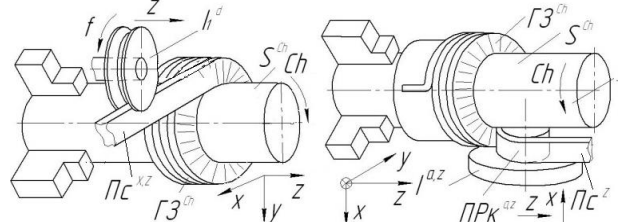


Рис. 5. Типові технологічні схеми формоутворення НЗ з позначенням рухів компонування технологічного устаткування та інструментів а також координатних рухів структурних елементів заготовки

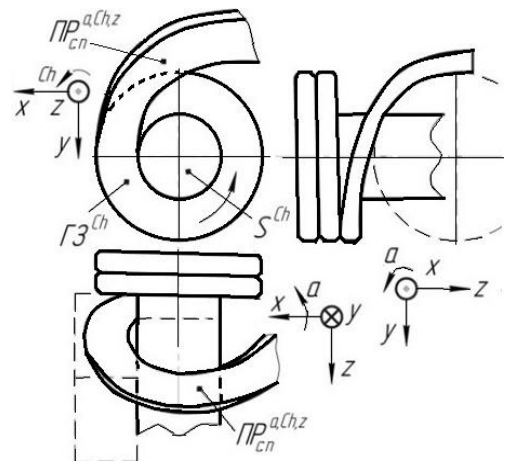


Рис. 6. Синтезована схема формоутворення НЗ із двома коловими рухами ділянки проміжної заготовки навколо осі X за наявності її одночасного переміщення вздовж оправы

$(B_1 z + B_2 + u)0x(C + WD)$ компоновання технологічного устаткування (рис. 1), яке було виготовлено і використовувалась в експериментальних дослідженнях.

Згідно розробленої енергетичної моделі процесу формоутворення структуризацію оброблюваної заготовки на ділянки розглянуто як результат введення у систему додаткової енергії (E_{in1} , E_{in2}) через дію інструментів. Кожну утворену ділянку характеризувано корисною енергією (E_{PP} , $E_{ГЗ}$) яка є функцією параметрів устаткування та схеми формоутворення, також енергією втрат ($E_{відx1}$, $E_{відx2}$), що визначається втратами в приводах технологічної системи та у зонах контакту інструменту із заготовкою.

Енергетичну модель описано у вигляді системи, входом до якої є повна енергія $E_{П}$, яка вводиться, а виходом – енергія $E_{ГЗ}$ ділянки ГЗ. У прямому ланцюгу

$$\begin{aligned} E_{П} &= E_{in1} + E_{П0} = E_{відx1} + E_{PP}; & E_{PP} + E_{in2} &= E_{відx2} + E_{ГЗ}, \\ W_{in1}(p) &= E_{PP}/E_{відx1}; & W_{in2}(p) &= E_{ГЗ}/E_{відx2}; & \Phi(p) &= E_{ГЗ}/E_{П}, \end{aligned} \quad (35)$$

де E_{in1} і E_{in2} – енергія, яку підводять до оброблюваної заготовки через інструменти; $E_{П0}$ – корисна енергія, яка затрачена на утворення ділянки “PP” оброблюваної заготовки на попередній операції; $\Phi(p)$ – передавальна функція замкненої системи перетворення ділянки “PP” у ділянку “ГЗ”, яка визначає необхідні енергетичні ресурси для отримання ділянки “ГЗ” з енергією $E_{ГЗ}$ із ділянки “П” із енергією $E_{П0}$; $W_{in1}(p)$ і $W_{in2}(p)$ – передавальні функції перетворення енергетичних ресурсів в енергію відповідно ділянок “PP” і “ГЗ”.

Таким чином пошук раціонального способу формоутворення ГЗ із множини варіантів доцільно здійснювати з врахуванням граничних значень передавальних функцій із умов $\Phi_{min}^*(p) < \Phi(p) < \Phi_{max}^*$, $\Phi(p) \leq 1$, $W_{in1min}^*(p) < W_{in1}(p) < W_{in1max}^*(p)$, $W_{in2min}^*(p) < W_{in2}(p) < W_{in2max}^*(p)$. Добротність енергетичного контуру розглянуто як відношення дисипованої енергії у процесі перетворення ділянки “PP” в ділянку “ГЗ” до енергії яка надходить у систему. Вона характеризує якість використовуваних інструментів, режимів оброблення.

Такий підхід дозволив отримати раніше не описані в технічній літературі способи формоутворення ГЗ. Частина із розглянутих схем мають однакові класифікаційні ознаки і кінематику, але їх реалізують складною структурою переміщень ділянок заготовки, яка обробляється.

Для структурного синтезу технологічного спорядження та інструментів для виготовлення ГЗ і ШЗ розроблено модифікований метод еволюційного синтезу. Його сутність в тому, що на кожному кроці перетворення базового об’єкту (прототипу) здійснюють заміну тільки одного функціонального елемента, який входить в склад початкової структури такого прототипу. Нові елементи, які включені в склад синтезованого об’єкту, не підлягають повторній заміні при наступних його перетвореннях. Запропоноване вдосконалення полягає у врахуванні елементів ієрархії, які забезпечують максимальну ефективність нового технічного рішення на основі оцінювання їх ефективності на кожному етапі еволюції об’єкту з урахуванням зв’язків елементів у його структурі. На основі цього розроблено нові конструкції технологічного спорядження для виготовлення НЗ.

У сьомому розділі “Технологічні основи та результати експериментальних досліджень технологічних процесів виготовлення гвинтових і шнекових заготовок” визначено аналітичні залежності зв’язку параметрів початкових заготовок та інструментів з силовими показниками процесу формоутворення та конструктивними параметрами ГЗ, які отримують способами вальцювання, навивання, гнуття та

профілювання. Наведено результати експериментальних досліджень технологій формоутворення широковиткових вальцьованих ГЗ, СГЗ, НЗ та показника їх технологічності, ГЗ і ШЗ, які отримують способом повітряно-плазмового різання.

Вперше визначено аналітичні залежності зв'язку геометричних параметрів початкових НСЗ та конструктивних параметрів НСГЗ, які отримують способом вальцьовання. На розглянутих НСЗ виконані трикутні вирізи висотою рівною b_l основою трикутника a з кроком t . Товщина H_{oh} частини заготовки шириною B_{oh} більша за товщину H_{OH} іншої її частини. Розглянуто два випадки – вальцьовання усієї або ділянки суцільної частини такої заготовки. Отримані ГЗ характеризують зменшеними на 15% діаметром d і до 20% матеріаломісткістю, а також збільшеною товщиною h у порівнянні з існуючими. Результати дозволили розробити інженерну методику проектування таких заготовок.

Також визначено аналітичні залежності для розрахунку конструктивних параметрів криволінійної НСЗ, яку необхідно використовувати для отримання навивних НСГЗ за допомогою інструменту з паралельним розміщенням осей ролика та оправы. Вони ураховують зв'язки геометричних параметрів розміщення і форми обтискового ролика з величиною усадки стрічки внаслідок її згинання ребром на оправу та зминання на деформуючому ролику.

Розроблена методика проектування гнутих НСГЗ, які отримують із НСЗ способом одно- чи двокутового гнуття на ребро їх пазових перемичок. Вона побудована на аналітичних залежностях взаємозв'язку між параметрами їх пазових перемичок до і після деформування. Отримано залежності для розрахунку конструктивних параметрів робочої поверхні деформуючого перемичку пуансона.

Визначено умови реалізації нової технології виготовлення гофрованих НСГЗ товщиною витків 0,08-0,4мм способом профілювання (гофрування) пазових перемичок НСЗ за допомогою роторного пуансона. Залежності ураховують умови руйнування таких перемичок при їх гнутті і натягу. Виведено формулу для розрахунку крутного моменту, який необхідно передати на вал роторного пуансона для деформування пазової перемички згаданої початкової заготовки.

На основі експериментальних досліджень уточнено критерій оцінки процесу навивання стрічки на ребро – коефіцієнт зведеної висоти b_M , у якому, на відміну від відомого, ураховано вплив температури нагріву та фізико-механічних властивостей матеріалу заготовки на стійкість процесу формоутворення НЗ

$$b_M = B^2(\psi - 1)^m HA'k \cdot 10^{-3} / 2^{m+1}(m+2), \quad (36)$$

де k – коефіцієнт, що враховує особливості схеми формоутворення НЗ; A' , m – постійні коефіцієнти при апроксимації зв'язку між напруженими деформаціями матеріалу $\sigma = A'\varepsilon^m$ (залежать від температури і швидкості деформації).

Його використання дозволило здійснювати прогнозування можливості реалізації процесу формоутворення НЗ та визначити перелік марок сталей, та біметалів що розширюють номенклатуру матеріалів, які можна використовувати в холодному та гарячому станах для отримання згаданих заготовок.

Запропоновано новий показник \tilde{f} величини граничного прогину КШЗ у процесі її формоутворення способом навивання стрічки ребром на опорний елемент з одночасним закріпленням сформованої ГЗ по внутрішній крайці до опорного елементу. При цьому ураховано вплив профілю витка на жорсткість.

Основою розрахунків величини \tilde{f} для заготовок із $b' > 10$ є умовна геометрична

жорсткість ШЗ. Її визначено на основі величини потенціальної енергії пружної деформації одного витка за методом Нарської Н.Л. з урахуванням закону зміни товщини його поперечного перетину

$$j = J_{on} + \frac{H_0 \sqrt[4]{0,25dD}}{2\pi(1-\mu^2)} \int_{R_H}^{R_n} \int_0^{2\pi} \left(\frac{C^3 r^2 \sin^2 \varphi}{(r^2 + C^2) \sqrt{r} \sqrt{r^2 + C^2}} + \frac{(H_0 \sqrt[4]{0,25dD})^2 (C(r^2 + C^2)(2r^2 + C^2)^2 + 2(1-\mu)C^5 r^2 \sin^2 \varphi)}{12(r^2 + C^2)^3 (\sqrt{r})^3 \sqrt{r^2 + C^2}} \right) d\varphi dr, (37)$$

де r, φ – полярні координати; C – параметр кроку гвинтової лінії: $C = T/2\pi$; J_{on} – осьовий момент інерції перетину опорного елемента спіралі; μ – коефіцієнт Пуассона.

На основі проведених досліджень встановлено, що величина прогину зростає зі збільшенням B_0 і зменшенням кроку навивання. Визначено раціональну схему закріплення опорного елемента при якому величина прогину є найменшою та лежить в межах поля допуску на виготовлення ШЗ. Отримано аналітичні залежності для розрахунку жорсткості ГЗ з різним профілем витків. Показано, що найбільшою жорсткістю відзначаються спіралі із гіперболічним профілем поперечного перетину витка, а найменшою – з прямокутним.

За результатами експериментальних досліджень процесу формоутворення вальцьованих ГЗ визначено залежності геометричних параметрів початкових заготовок, температури їх нагрівання, мастильних матеріалів та параметрів інструментів з конструктивними параметрами ГЗ та енергосиловими показниками їх формоутворення. Це дозволило виробити рекомендації щодо ефективної реалізації такої технології.

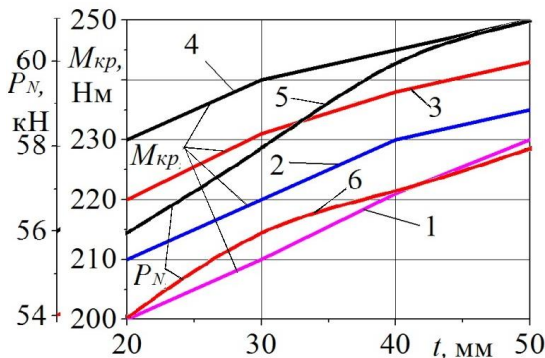


Рис. 7. Залежності крутного моменту $M_{кр}$ на вальцях та сумарного зусилля P_N на привідному вальці від кроку вирізів заготовки t : а) на конічному вальці при $a=10$ мм; $b_1=5$ мм (криві 1 і 6) і $a=16$ мм; $b_1=8$ мм (криві 3 і 5); б) на циліндричному вальці при $a=10$ мм; $b=5$ мм (крива 2); $a=16$ мм; $b_1=8$ мм (крива 4)

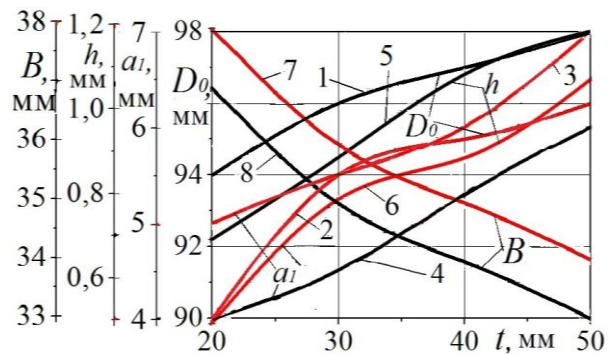


Рис. 8. Залежності діаметру D_0 , ширини a_1 вирізів на внутрішній крайці, товщини h зовнішньої крайки витка та ширини B витка ГЗ після вальцювання від кроку вирізів t для різних значень висоти та ширини вирізів: $a=10$ мм; $b_1=5$ мм (криві 1, 4, 5, 8); $a=16$ мм; $b_1=8$ мм (криві 2, 3, 6, 7)

Зокрема дослідження впливу кроку вирізів на енергосилові та конструктивні параметри ВГЗ (рис. 7 і 8) при використанні водо-графітного мастила для $B_{oh}=30$ мм; ширина зони вальцювання $b_B=18$ мм, $B_0=30$ мм; $H_{oh}=2$ мм; $H_{OH}=1$ мм показали, що найбільший крутний момент – на циліндричному вальці, а зі зменшенням величини основи a вирізів для $a/b_1=2$ спостерігаємо зменшення моментів вальцювання на вальцях. При зменшенні основи вирізів з 50 до 20мм за інших однакових умов падіння моменту вальцювання на кожному із вальців перевищило 16%. При цьому найбільшій кривині зовнішньої крайки витка можна досягнути за умови зменшення величини кроку t вирізів, що чіткіше виявляється для більших значень b_1 . Зокрема, при зменшенні кроку вирізів з 50 до 20 мм для $b_1=8$ мм зменшується діаметр D_0 на 7% та зусилля деформації на 8-12%. Однак недоліком розглядуваного процесу є наявність

вирізів шириною a_1 на внутрішній крайці витка внаслідок не зімкнення КСЕ на заготовці. Забезпечення умови $a_1 = 0$ досягнуто відповідним підбором величини обтискування заготовки та параметрів вирізів a , b_1 і t за розробленою у роботі методикою.

Дослідження процесів виготовлення НЗ із закритою навивкою витків дозволили визначити умови зменшення моменту навивання залежно від температури t нагрівання заготовки, матеріалу мастила, діаметра і величини зміщення притискного ролика інструменту, а також кута зміщення направляючого ролика. Показано, що на початковому етапі навивання можливе перекидання навитої частини спіралі і деформації місця затиску смуги на оправі. Надалі, має місце стабілізація геометричних параметрів, тому для підвищення точності навивання необхідно використовувати додатковий механізм осьового підтискування витків спіралі при виготовленні заготовки із $V/H > 5$. Встановлено, що за інших рівних умов внаслідок зміни температури деформації від 900°C до 1200°C зниження моменту навивання перевищує 40%. А використання мастил дозволяє збільшити якість гвинтових виробів і досягти зменшення моменту навивання до 25%. Зміщення притискного ролика призводить до падіння моменту у зв'язку зі збільшенням плеча прикладання зусилля згину. При збільшенні діаметра ролика з 100мм до 200мм зменшення моменту досягає 35%.

Дослідження впливу конструктивних параметрів гофрованих смуг на енергосилові параметри отримання гофрованих НЗ показали (рис. 9), що на зусилля формоутворення значний вплив має напрямок та кут нахилу гофрів початкової заготовки. Найменші значення крутного моменту на оправі та зусилля на обтискному ролику можна забезпечити за умови використання смугових заготовок із кутом α нахилу гофрів в межах 12-16 град. За однакових умов, використання смуги із нахиленими гофрами у порівнянні зі смугою із прямими гофрами забезпечує зниження зусилля на обтискному ролику на 15-24%. Використання початкових заготовок із кутом α , який перевищує 30 град. пов'язано із технологічною складністю отримання таких гофрованих смугових заготовок.

Визначено закономірності впливу радіуса R_z початкових криволінійних заготовок на конструктивні параметри НЗ та енергосилові параметри процесу їх формоутворення. У результаті досліджень виявлено, що зі зростанням R_z при однаковому плечі l зусилля згину заготовок момент навивання та відповідно і затрачена робота зростають (рис. 10: $H_0 = 2$ мм, $B_0 = 32,5$ мм, відстань між оправою і роликом $A = 75$ мм, $l = 25$ мм, діаметр ролика $D_p = 40$ мм). Це зумовлено зростанням ступеня деформації заготовок. Однак найменші зусилля деформації спостерігають при використанні мастила "Графітол-В". Використовуючи криволінійні заготовки з різним радіусом R_z , можна отримати НЗ із однаковими зовнішніми та внутрішніми діаметрами, але різною товщиною зовнішніх та внутрішніх крайок витка.

Встановлено збільшення діаметра ролика деформуючого інструменту та зменшення

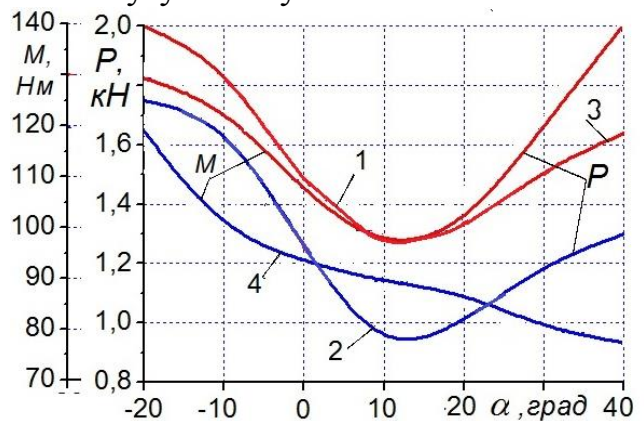


Рис 9. Залежності крутного моменту на оправі та зусилля на обтискному ролику від кута нахилу гофрів смугової заготовки у процесі її навивання ребром на оправу діаметром 60 мм при використанні мастила "Графітол-В2": 1, 3 – Сталь 20, $t=1000^\circ\text{C}$; 2, 4 – алюмінієвий сплав Д16, $t = 150^\circ\text{C}$

кроку вирізів на заготовці призводить до зменшення моменту навивання. Зокрема у процесі навивання на оправу діаметром 40мм, стрічкової заготовки зі сталі 20 для $H_0 = 2$ мм, $B_0 = 32,5$ мм, $R_z = 78$ мм, $A = 75$ мм, $l = 25$ мм, $D_p = 40$ мм, ширини вирізів $b_l = 10$ мм, $a = 9,6$ мм, $t = 1200^\circ\text{C}$ із застосуванням водо-графітової суміші “Графітол-В” зменшення кроку вирізів від 45 мм до 15 мм призводить до зменшення моменту навивання на 25%. Найменші енергосилові витрати будуть за умови використання ролика діаметром 60÷80 мм.

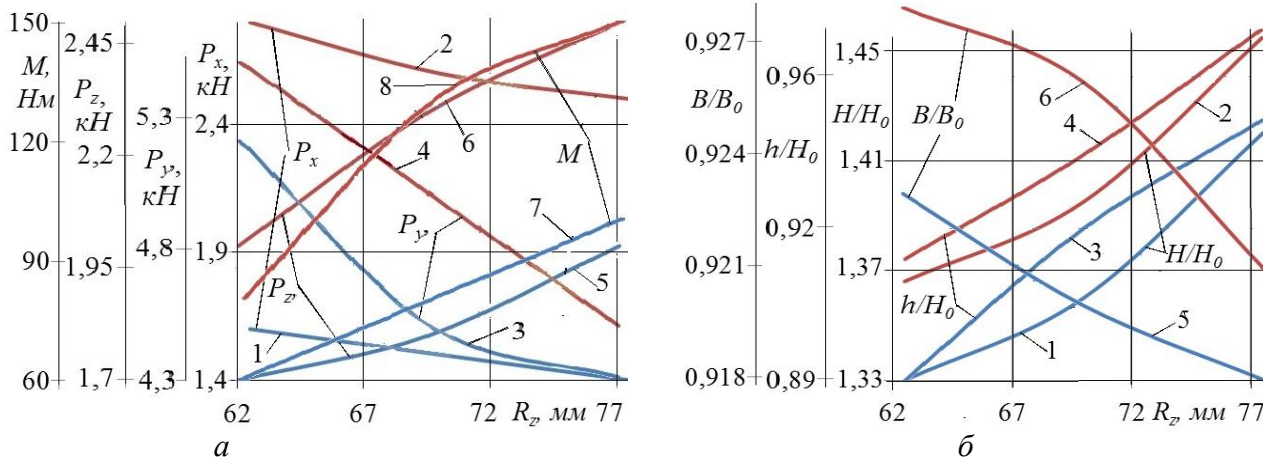


Рис. 10 Залежності величини зусиль P_x (1, 2), P_y (3, 4), P_z (5, 6) на згинаючому ролику та моменту навивання (а), а також відношення H/H_0 товщини внутрішньої крайки витка до номінальної товщини смуги (1, 2), відношення h/H_0 товщини зовнішньої крайки витка до номінальної товщини смуги (3, 4) та усадки B/B_0 стрічки (5, 6) від радіуса заготовки (б) при навиванні на оправку діаметром 40мм стрічкової заготовки зі сталі 20 для $t = 1200^\circ\text{C}$ із використанням: 1, 3, 5, 7 – водографітової суміші “Графітол-В”; 2, 4, 6, 8 – водної суспензії солі з добавкою азотнокислого натрію

Дослідження процесу утворення СГЗ із КСЗ з радіальними прорізами зі сторони внутрішньої крайки показали, що форма прорізей визначає динаміку екстремальних змін зусилля деформування, що впливає на дефектність отриманих заготовок (рис. 11 і 12). Нестабільність процесу характерна для заготовок із тангенціальними і циклоїдними прорізами. Збільшення висоти прорізей у радіальному напрямку із $0,25B$ до $0,5B$ спричиняє до зменшення зусилля деформації на 30% для усіх видів таких заготовок. При цьому, зусилля деформації суцільної заготовки у 3 рази більші ніж заготовок з прорізами. Збільшення висоти прорізей у радіальному напрямку до $0,75B$ супроводжується подальшим зменшенням зусилля деформації, однак зростає ступінь спотворення форми та руйнування гвинтової поверхні. Збільшення на заготовці кількості радіальних прорізей із 4 до 12 призводить до зменшення зусилля на 16%.

Доведено, що для виготовлення СГЗ зі значною шириною витків для $T/D > 1,6$ доцільно використовувати КСЗ із Т-подібними прорізами почергово змінної висоти та різницею між двома суміжними прорізами яка не перевищує граничну величину, що дорівнює третині ширини витка.

Проведено дослідження прогинів та величини напружень у процесі виготовлення комбінованих ШЗ способом навивання стрічкових заготовок ребром на оправі з одночасним їх закріпленням. При цьому розглянуті різні способи закріплення оправі на верстаті.

Показано, що збільшення кроку навивки призводить до зменшення прогину внаслідок підвищення жорсткості оправі. На величину напружень впливає довжина частини гладкої

спіралі, жорсткість якої менша у порівнянні з частиною оправи із розміщеними на ній витками ШЗ. Тому суттєве зменшення прогину та напружень на оправі спостерігається лише при навиванні стрічки на консольну оправу. Отримання КШЗ із закритою навивкою витків при наявності зусилля P_{np} попереднього осьового підтискування призводить до зростання прогину.

Зокрема збільшення величини P_{np} , наприклад з 350Н до 1400Н призводить до зростання зусилля згину стрічки з 1250Н до 1750Н і прогину на 20%. У процесі навивання стрічки на консольну оправу малого діаметру 20-30мм, величина прогину оправи в 4-5 раз більша ніж при навиванні на оправу, підтиснуту заднім центром. У випадку двохопорного закріплення оправи вплив фактора кроку T є незначним.

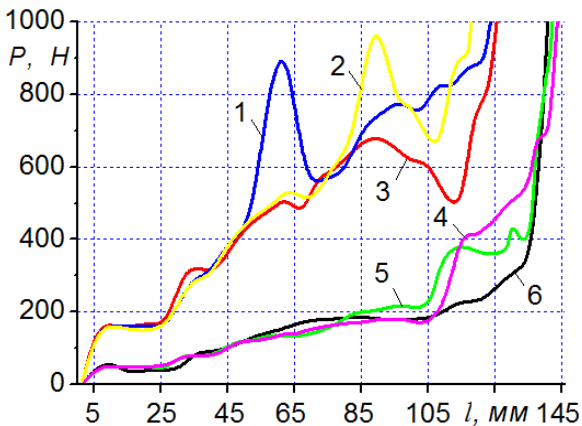


Рис. 11. Залежність затраченого зусилля деформації КСЗ зі сталі 12Х18Н9Т (поз. 1-3) та сталі 20 (поз. 4-6) із тангенціальними (поз. 1, 5), циклоїдними (поз. 2, 4) та радіальними прорізами (поз. 3, 6) при $B_n=0.25B$ від величини переміщення рухомої частини інструменту

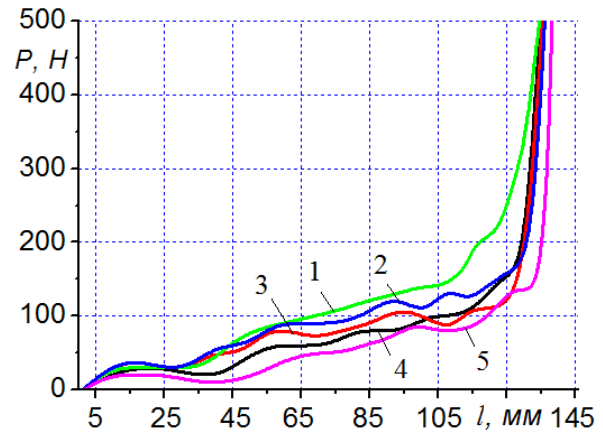


Рис. 12. Залежність затраченого зусилля деформації КСЗ зі сталі 20 із тангенціальними Г-подібними (поз. 1), радіальними Г-подібними (поз. 2), радіальними Т-подібними (поз. 3), циклоїдними Г-подібними (поз. 4) та радіальними Т-подібними прорізами (поз. 5) змінної висоти при $B_n = 0.25B$ від величини переміщення рухомої частини інструменту

На основі експериментальних досліджень обґрунтовано ефективність реалізації технології повітряно-плазмового різання для отримання ГЗ і ШЗ із важкооброблюваних матеріалів в умовах різних типів виробництв. Показано недоцільність використання такої технології для отримання згаданих заготовок із міді, алюмінію та їх сплавів, сталей загального призначення згідно ГОСТ380-88: Ст.3, Ст.0, конструкційних вуглецевих сталей згідно ГОСТ1050-74: 08, 08кп, 10, 45, сталей підвищеної та високої оброблюваності різанням згідно ГОСТ1414-75: АС12ХН, АС14ХГН, АС30ХМ, АС40ХГНМ. Внаслідок оброблення конструкційних сталей збільшується вміст азоту в шарах, прилеглих до

поверхні різу (до 0,33% при вмісті азоту у вихідному металі 0,018%). При подальшому зварюванні до опорного елементу отриманих спіралей товщиною менше 12мм під шаром флюсу через це утворюються пори і свищі. На поверхнях ГЗ з конструкційних сталей, особливо високо вуглецевих ($C > 0,3\%$), можливе утворення структур гартування, а в заготовках з хромонікелевих сталей – карбідів при відсутності в сталі стабілізуючих елементів. На крайках

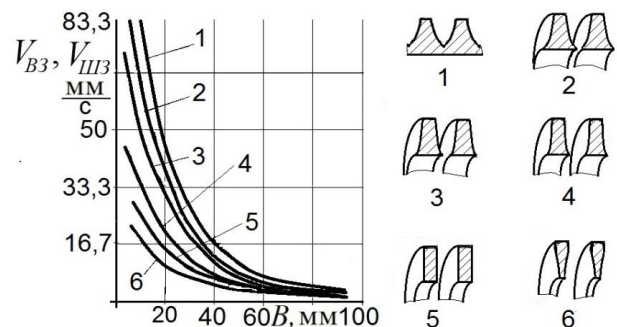


Рис. 13. Залежність форми профілю поперечного перетину витків ГЗ і ШЗ із низьковуглецевої сталі від ширини витка і швидкості різання порожнистої заготовки (струм 300А, витрата повітря 90-120 л/хв, діаметр сопла 3мм.)

витків з алюмінієвих сплавів, метал має дендритну будову; спостерігаються інородні включення у вигляді газових бульбашок. Так, наприклад, при вирізання ГЗ із $B = 50$ мм загальна протяжність зони термічного впливу для високолегованої сталі (12Х18Н9Т) дорівнює 1,5-2 мм, для алюмінієвого сплаву (АМг 6) 3 мм, а для низьковуглецевих і низьколегованих сталей 6-7 мм.

Гвинтові та шнекові заготовки з таких матеріалів потрібно виготовляти менш енерговитратними способами навівання, формування, вальцювання чи оброблення різанням.

Визначено вплив швидкості різання на форму профілю поперечного перетину витків і шорсткість гвинтових поверхонь ГЗ і ШЗ (рис. 13). Якість бічних поверхонь спіралей характеризується 3-4 класами кутів зрізу згідно ISO9013. Згідно ГОСТ14792-80 шорсткість утвореної гвинтової поверхні, як поверхні різку, можна визначати виміром висоти нерівностей профілю по 10 точкам на базовій довжині 8 мм. При використанні устаткування з ЧПК, що забезпечує постійну швидкість різання і точність позиціонування – до 0,1 мм можна досягти шорсткості бічних поверхонь витків $R_z = 160 \dots 300$ мкм. Отримані ГЗ характеризуються незначною шириною міжвиткового простору через малу ширину різку (для $B = 20$ мм ширина різку – не більше 2,5 мм).

Встановлені залежності для розрахунку мінімального кроку гвинтової спіралі та швидкості різання залежно від сили струму, діаметру сопла плазмотрона, матеріалу й параметрів витка. Наведено раціональні технологічні режими різання порожнистих заготовок зі сталей 12Х18Н10Т, 09Г2С та 30ХГСА при використанні апаратів напівавтоматичного повітряно-плазмового різання металів мод. “Турмо-400ВА” та плазмотронів П2-400ВР, П2-400ВА, П3-400ВА.

У восьмому розділі “Особливості розроблених технологічних процесів виготовлення ГЗ і ШЗ та використання результатів досліджень у виробництві та науково-дослідній діяльності” описані особливості розроблених ТП виготовлення ГЗ і ШЗ (рис. 14) методами оброблення тиском, формування з полімерних матеріалів, кераміки і гуми, складання, зварювання, а також лиття у форми із функціональними закладними елементами. Також розглянуто особливості утворення згаданих заготовок з використанням полімерних матеріалів на основі методів нанесення неметалічних неорганічних та органічних покриттів. Показано варіанти конструктивного виконання нових видів НСГЗ та початкових заготовок, які доцільно використовувати для їх формоутворення. Описано розроблену методику проектування заготовок і технологічного спорядження на базі використання системи параметричного креслення T-FLEX CAD. Відображено використання отриманих результатів у виробництві, науково-дослідній та педагогічній роботі, а також перспективи подальших досліджень.

Зокрема розкрито особливості конструктивного виконання початкових заготовок (смугових прямолінійних, кільцевих і спіральних цільних та НСЗ) та отриманих на їх основі відповідно 20 груп нових видів НСГЗ. Використання таких початкових заготовок вирішує проблемне питання економії матеріалів, підвищення продуктивності праці та отримання широковиткових ГЗ з малими радіусами кривини їх внутрішніх крайок і збільшеною у порівнянні з існуючими товщиною зовнішньої крайки витка.

Розглянуто різні конструкції НСЗ. Зокрема зовнішні крайки КСЕ з боку пазових перемичок можна виконувати з радіусом R_h , який дорівнює радіусу розгортки зовнішньої крайки витка ГЗ, а протилежні внутрішні крайки КСЕ, з боку пазів – з радіусом R_H , який дорівнює радіусу розгортки внутрішньої крайки витка ГЗ. Для виготовлення товстовиткових косих НСГЗ на КСЕ необхідно виконати фаску на протилежних ребрах зовнішньої та внутрішньої крайок витка під кутом $\tilde{\mu}$ до нормалі заготовки до лівої лицьової її сторони. За умови $K_T > 0,6$ радіальні параметри КСЕ

визначено так

$$R_h = R_h^* + 0,5H_0 \operatorname{tg} \tilde{\mu}; \quad R_H = 2R_H^* - \sqrt{4R_H^{*2} - (H_0 T / \pi d)^2} - H_0 \cdot \operatorname{tg} \tilde{\mu}, \quad (38)$$

де $R_H^* = 0,5D(1 - K_d) \left(\zeta / \sqrt{\pi^2 K_d^2 + K_T^2} - 1 \right)^{-1}$; $R_h^* = 0,5D(1 - K_d) \left(\sqrt{\pi^2 K_d^2 + K_T^2} / \zeta \right)^{-1}$;

$$\zeta = (1 - K_d)^{-1} \left(\sqrt{\pi^2 + K_T^2} - \sqrt{\pi^2 K_d^2 + K_T^2} + K_T^2 \pi^{-1} \ln \left(\left(\pi + \sqrt{\pi^2 + K_T^2} \right) / \left(\pi K_d + \sqrt{\pi^2 K_d^2 + K_T^2} \right) \right) \right),$$

де $\tilde{\mu}$ – кут фаски крайок витка: $\tilde{\mu} = 90 - \tilde{\theta}$.

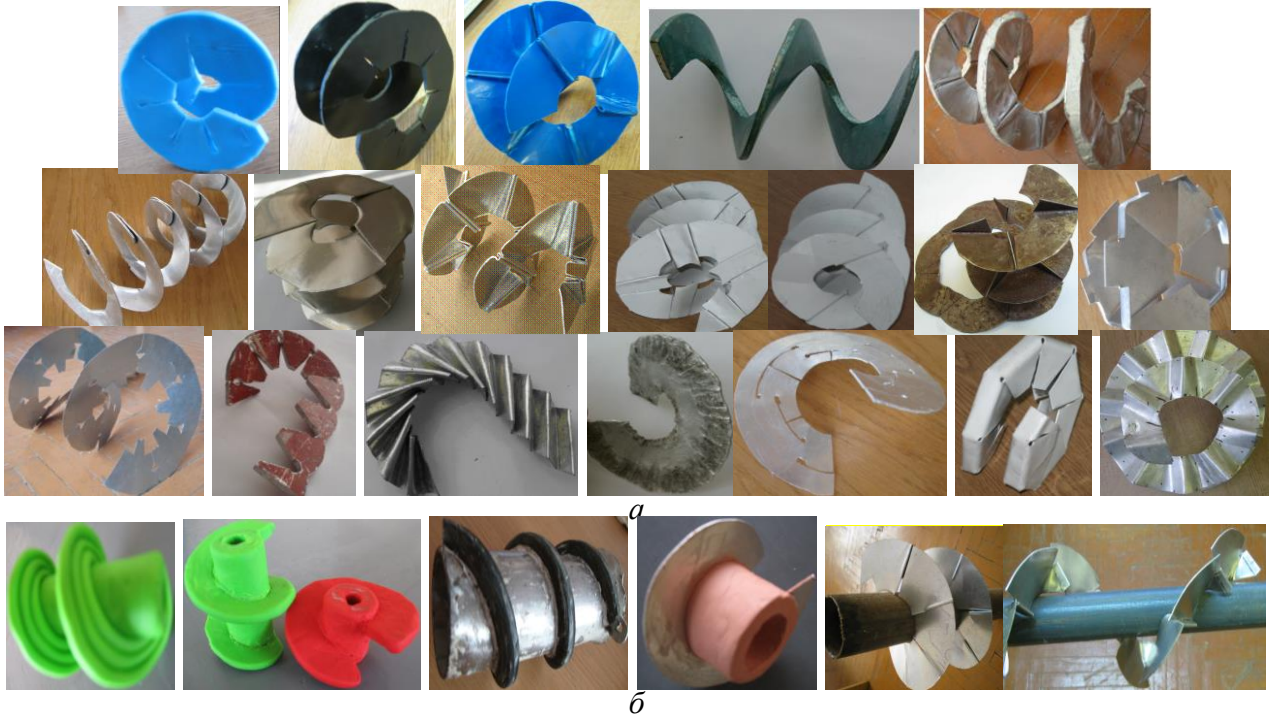


Рис. 14. Загальний вигляд різних видів ГЗ (а) та ШЗ (б), отриманих з використанням металічних та полімерних матеріалів на розроблених операціях навивання, профілювання, вальцювання, гнуття, формування, розганяння, складання, екструзування з навиванням, висаджування, лиття у форми із закладними спіралями

У випадку коли зовнішні та внутрішні крайки КСЕ виконують однакового радіуса кривини то центральний кут КСЕ визначають із умови

$$\delta_{\max} \geq (R_h - r_0) \cos(0,5\varphi - \pi) + \sqrt{(R_h - r_0)^2 \cos^2(0,5\varphi - \pi) + R_h r_0 - r_0^2} - r_0 = \delta, \quad (39)$$

де δ_{\max} – допустима максимальна величина щілини між внутрішньою крайкою ГЗ та радіусом вписаного дотичного кола до внутрішньої крайки розгортки витка; r_0 – радіус вписаного дотичного кола до внутрішньої крайки розгортки витка; φ – центральний кут КСЕ; δ – розрахункова величина максимального просвіту між внутрішньою крайкою розгортки витка та радіусом вписаного дотичного кола до внутрішньої крайки її розгортки.

Заміна складеної секційно-зварної ГЗ на цільну НСГЗ дозволила отримати економію матеріалів до 29% зі зменшенням працездатності виробництва до 27%.

Залежно від конструктивних особливостей гвинтових виробів, формування ГЗ із НСЗ виконують на основі різних способів навивання, вальцювання, розганяння, гнуття і скручування. При цьому спільними ознаками процесів формоутворення НСГЗ є забезпечення умови збігу центрів сусідніх КСЕ в одній точці – центрі утвореного плоского витка, або умови розміщення центрів на одній осі, яка є поздовжньою віссю згаданої заготовки.

Вдосконалення технологій виготовлення НЗ досягнуто шляхом використання: а) нових конструкцій початкових заготовок, що дозволило отримати ГЗ із $B/H > 20$ з малими внутрішніми діаметрами, а також зменшеними зусиллями деформування; б) спеціальних конструкцій технологічного спорядження, яке забезпечує попередження гофроутворень та втрати стійкості заготовки у зоні згинання; в) використання способів з підвищеною продуктивністю.

Для виготовлення НЗ із КСЗ робочу подачу обтискного ролика визначено так

$$S = H_0 \sqrt[4]{(RR_z (R_z - B_o - r))(r(R_z - R)(R_z - B_o))}^{-1}, \quad (40)$$

де R_z – радіус кривини початкової заготовки.

У випадку коли для пазової перемички НСЗ $\psi < 1,3$, то величина моменту навивання

$$M = 0,144 H_n \sigma_s B_n^2 \left(\sin\left(\frac{\pi\phi_c}{\phi_{nep}}\right)_c + \left| \sin\left(\frac{\pi\phi_c}{\phi_{nep}}\right) \right| \right), \quad (41)$$

де σ_s – дійсне напруження текучості із врахуванням зміцнення матеріалу; B_n , H_n – ширина і товщина пазової перемички НСЗ; ϕ_{nep} – кут між осьовими лініями сусідніх перемичок; ϕ_c – кутовий параметр.

Використання початкової суцільної чи спіральної НСЗ з певним радіусом кривизни зменшує ступінь її деформації, в порівнянні з прямолінійною плоскою стрічкою, за інших однакових умов, створюючи резерв для зменшення мінімального радіусу гнуття стрічки ребром на оправу.

Показано, що навивання ребром на оправу гофрованих смуг із похилими гофрами дозволяє отримувати ГЗ, які характеризуються тангенціальними гофрами, незначними зусиллями у процесі їх отримання та збільшеною площею поверхні витка, що особливо важливе у випадку використання таких спіралей у теплообмінних установках.

Ефективність використання технологій виготовлення НЗ способом безоправкового навивання досягнута завдяки використанню: а) схем кінето-пластичного формування; б) нових конструкцій початкових заготовок (плоских багатовиткових стрічкових спіральних заготовок, смугових НСЗ).

Підвищення якості, надійності та продуктивності процесу отримання НЗ досягнуто завдяки використанню розроблених пристроїв, які забезпечують: рівномірність підтискування формоутворюючим роликом заготовки в зоні її деформації за шириною витка відповідно значенням кутів нахилу зовнішньої і внутрішньої крайок та профілю поперечного перетину витка; підвищену стійкість навитих витків з урахуванням різної швидкості точок лінійного контакту інструмента із заготовкою; виготовлення таких заготовок різних типорозмірів на універсальному пристрої. Запропоновані технічні рішення дозволяють використовувати автоматизовані лінії.

Ефективність розроблених технологій виготовлення кованих ГЗ досягнуто завдяки використанню спеціальних смугових та НСЗ та способів їх деформування (розганяння, осаджування з розтягуванням) на операціях редукування і радіального обтискування.

Для вирішення проблемних питань отримання вальцьованих ГЗ зі значною шириною витка (отримання спіралей з $\psi > 3,0 \dots 3,2$ відомими способами практично неможливо), малим діаметром d , збільшеною товщиною h та зменшеною на 20-40% матеріаломісткістю та підвищеною якістю через зменшення спотворення форми і розмірів витка внаслідок пружних деформацій інструментів запропоновано використання: а) нових конструкцій початкових заготовок (смугових НСЗ, плоских багатовиткових стрічкових спіральних заготовок); б) спеціальних способів впливу на заготовку для отримання ГЗ (асиметричне

обтискування гофрованих смуг); в) спеціального устаткування для асиметричного обтискування смугових заготовок (ротаційні штампи); г) спеціальних пристосувань для встановлення їх на металообробних (зокрема на фрезерних) верстатах.

Вдосконалення технологій виготовлення широковиткових гнутих ГЗ досягнуто шляхом використання спеціальних конструкцій початкових НСЗ, що дозволило отримати нові вироби з фасонно-стрічковими, накладними та ребристими витками. Отримання згаданих заготовок базувалось на таких способах гнуття як: а) одно- чи багатокутове гнуття на певний кут; б) гнуття до паралельності сторін (НСЗ при цьому загинають аж до паралельності її частин, розташованих по обидві сторони від формувального ножа); в) гнуття до зіткнення сторін.

Вдосконалення технологій виготовлення гофрованих ГЗ на операціях профілювання досягнуто шляхом використання: а) смугових та спіральних НСЗ; б) додаткових технологічних переходів, що забезпечило отримання гофрованих ГЗ із малим радіусом кривини їх внутрішніх крайок; в) способу гнуття гофрованої смуги, що дозволило підвищити продуктивність отримання гофрованих ГЗ; г) спеціальних пристосувань зі спрощеним приводом обертання для встановлення їх на металообробних (зокрема на токарних) верстатах та спеціальною формою КСЕ.

Розроблені технології забезпечують отримання широкої номенклатури гофрованих смугових ГЗ, гофрованих НСГЗ, гофрованих здвоєно-накладних НСГЗ та ін. видів. Для їх виготовлення запропоновано використовувати як плоскі, так і спеціальні прямолінійні або спіральні НСЗ, у яких КСЕ чи пазові перемички виконані гофрованими із постійною амплітудою гофрів за висотою заготовки.

Основними проблемними питаннями виготовлення широковиткових СГЗ із КСЗ на операції формування є низький коефіцієнт використання матеріалу, складність виготовлення пуансонів і матриць, призначених для виготовлення ГЗ лише визначеного типорозміру, спотворення форми і розмірів витка із $T/D > 1,6$ і $B/H > 100$ од. через складність центрування та фіксації КСЗ у процесі її розтягування на значний крок. Розроблені технічні рішення дозволили досягнути техніко-економічного ефекту за рахунок: отримання плоских КСЗ із смугових чи трубних початкових заготовок або вторинної сировини, наприклад штучних заготовок у вигляді спрацьованих дискових виробів, використання КСЗ спеціальної форми з радіальними прорізами і кільцевими секторними пазами, реалізації нових схем формоутворення і комбінованих операцій формування з осаджуванням, формування з відборткуванням, використання спеціальних штамтів, впровадження інкрементальних способів деформації.

Зокрема підвищення точності отримання СГЗ сприяє обробленню КСЗ шляхом покрокової подачі такої заготовки, зближенням робочих поверхонь інструментів за товщиною заготовки, що призводить до її деформування внаслідок скручування між двома мимобіжними вісесиметричними профільними робочими поверхнями таких інструментів з наступним їх розведенням. Профільна робоча поверхня кожного інструмента являє собою поверхню обертання, вісь якої розміщена під кутом відносно радіальної осі гвинтової поверхні заготовки та огинає таку поверхню. При цьому профільну робочу поверхню інструмента описано рівнянням

$$x^2 + y^2 = (a_0 + a_1z + a_2z^2 + \dots + a_{n-1}z^{n-1} + a_nz^n)^2, \quad z \in [0, \tilde{b}], \quad (42)$$

де x, y, z – координати точки поверхні інструмента у Декартовій системі координат (вісь Z направлена вздовж осі пуансона); $a_0, a_2, \dots, a_{n-1}, a_n$ – коефіцієнти полінома, отриманого в результаті апроксимації точок кривої лінії перетину твірної інструменту з гвинтовою поверхнею СГЗ; \tilde{b} – лінійна довжина зони контакту профільної робочої поверхні інструмента

із гвинтовою поверхнею заготовки.

Показано, що у випадку отримання СГЗ способом формування з обкочуванням циліндричним вальцем гвинтової робочої поверхні матриці через товщину КСЗ, необхідно здійснювати скручування поперечного перетину біля зони деформування частини оброблюваної заготовки до її прилягання до такого інструменту на довжині дуги, яка обмежена центральним кутом

$$\alpha = 2 \cdot 10^2 H_0 \sqrt{(\pi D)^2 + T^2} / B_0 \sqrt{(\pi d)^2 + T^2} . \quad (43)$$

Розроблені нові конструкції технологічного спорядження, схеми виготовлення і зміцнення різнопрофільних ГЗ і ШЗ на операціях накочування, калібрування на крок, висаджування (циліндричної заготовки) та поверхневого пластичного деформування. Такі технології дозволили підвищити міцність, точність й продуктивність отримання таких заготовок.

Вдосконалення технологій виготовлення ГЗ і ШЗ методом формування з полімерних матеріалів, кераміки і гуми досягнуто шляхом: використання нових видів початкових НСЗ з полімерних матеріалів і способів їх оброблення, характерних для методу оброблення металів тиском; вдосконалення способу подачі початкових смугових заготовок у зону деформації, чим вирішено проблемне питання адгезії матеріалу до поверхонь формуючих вальців у процесі утворення полімерних та керамічних ГЗ; використання комбінованих операцій дозволило реалізувати технології в умовах одиничного і ремонтного виробництва.

Для економії матеріальних ресурсів у виробництві комбінованих ШЗ методом складання в умовах ремонтного виробництва запропоновано використовувати вторинну сировину: початкові заготовки у формі спрацьованих корд тканинних та корд шнурових (лавсанових) пасів.

Розроблені нові металічні конструкції НСГЗ використані як армуючі елементи у виробництві широковиткових ГЗ і ШЗ з гладкими гвинтовими поверхнями завдяки застосування відомих технологій отримання неметалічних неорганічних та органічних покриттів. Це дозволило розширити сфери використання гвинтових виробів, які можна отримувати зі згаданих заготовок.

Зменшення долі зварних операцій при виготовленні комбінованих ШЗ через відсутність необхідності зварювання ГЗ з опорним елементом досягнуто завдяки застосування технології лиття у форми із функціональними закладними СГЗ чи НСГЗ.

При цьому для отримання опорного елемента витків рекомендовано використовувати синтегран чи інші композиційні або полімерні матеріали.

Для виготовлення ГЗ і ШЗ із високолегованих, корозійностійких жаростійких і жароміцних та інших сталей методом зварювання запропоновано та обґрунтовано доцільність реалізації способу повітряно-плазмового різання по спіралі порожнистих штучних заготовок і товстостінного трубного прокату.

Для використання результатів досліджень на виробництві розроблено методіку проектування на базі використання системи T-FLEX CAD параметричного креслення. Вона охоплює такі етапи проектування, як синтез схем розкрою листового прокату, проектування початкових та кінцевих заготовок та технологічного спорядження.

Розроблені конструкції ГЗ і ШЗ та технології їх виготовлення розкривають нові можливості використання транспортно-технологічних механізмів з розширеними функціональними можливостями. Це досягнуто передусім за рахунок широкої номенклатури та типорозмірів форм гвинтових спіралей шнекових робочих органів, а також виконанням на поверхнях витків конструктивних та технологічних елементів, які підвищують жорсткість

таких деталей. Зокрема на основі застосування методики синтезу ГЗ розроблено нові конструкції гвинтових робочих органів: а) тістомісильних машин, які забезпечують високоякісне перемішування і пластикацію компонентів тіста (рідкої та сипкої фаз) рівномірно за усім об'ємом робочої камери з мінімальними затратами енергії на замішування (Пат. України №№ 54141, 53030, 53029, 48533, 48531, 48532); б) гнучких гвинтових конвекторів, які характеризуються підвищеною продуктивністю; в) гвинтових пристроїв для закріплення тонкостінних порожнистих заготовок з розширеним діапазоном затиску (Пат. України №№ 5385, №15685, 15686, 16499, 16500, 17465, 19342, 20308); г) машин для транспортування насипних вантажів з інтенсифікованими такими функціональними операціями як калібрування, стратифікація, змішування, скарифікація, делентування, сегментація тощо (Пат. України № 49562); д) очисника вороху коренебульбоплодів від домішок (Пат. України № 19428), використання якого забезпечило покращення ступеня сепарації та зниження рівня забруднення таких коренебульбоплодів; е) теплообмінника (Пат. України №5 2081) з підвищеним коефіцієнтом ребристості. Використання технології виготовлення гофрованих НСГЗ дозволило здійснити конструктивну заміну напесованих плоских кільцевих ребер ребристої труби теплообмінника на тонковиткову гвинтову спіраль. Це призвело до збільшення продуктивності процесу виробництва та дозволило підвищити коефіцієнт ребристості та відповідно покращити теплообмін за рахунок використання широковиткової гвинтової спіралі підвищеної жорсткості. Заміна складеної спіралі на неперервну спіраль отриману з НСГЗ у конструкції гвинтового робочого органу машини для внесення твердих органічних добрив (Пат. України № 40640) забезпечило зниження на 50% загального об'єму зварювальних робіт, на 15% тривалість механічної операції – зачищення зварних швів і на 10% економію листового матеріалу.

У роботі визначено основні напрямки подальших досліджень, які базуються на отриманих в дисертаційній роботі наукових і практичних результатах.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Аналіз сучасного стану досліджень та моніторинг ринку конструкцій широковиткових ГЗ і ШЗ деталей машин, технологічних методів та устаткування для їх виготовлення показав, що вони не забезпечують обґрунтованості проектних рішень, належного рівня технологічності та не відповідають техніко-економічним вимогам за питомими витратами матеріально-енергетичних ресурсів і якістю їх виготовлення. В дисертації, у результаті теоретичних і експериментальних досліджень, створена нова концепція теоретичного узагальнення і вирішення науково-технічної проблеми розроблення, уніфікації, вибору та впровадження нових конструкцій і енергоефективних, ресурсощадних технологій отримання ГЗ і ШЗ шляхом розроблення і реалізації методології синтезу нових конструкцій та прогресивних технологічних процесів для підвищення їх ефективності з урахуванням технологічних можливостей та типу виробництва, параметричної стандартизації заготовок та уніфікації ТП і спорядження для їх виготовлення.

Основні наукові і практичні результати роботи полягають у такому:

1. Розроблено структуровану систему із 116-ох показників технологічності ГЗ і ШЗ, яка є основою для аналізу їх конструктивної складності, порівняння і вибору різних технологічних способів і методів виготовлення таких заготовок. В рамках такої системи: а) уточнено критерій оцінки процесу навивання стрічки на ребро – коефіцієнт зведеної висоти, який на відміну від відомого враховує вплив температури та фізико-механічних властивостей матеріалу для

прогнозування можливості реалізації процесу формоутворення навивних заготовок; б) встановлено закономірності прогину КШЗ при різних способах її закріплення у процесі виготовлення методом холодного навивання смугових заготовок ребром на опорний елемент, на основі яких запропоновано критерій оцінювання з урахуванням впливу профілю витка на жорсткість згину для забезпечення регламентованого прогину такої заготовки без надлишкового збільшення її матеріаломісткості. Такі показники дозволили визначати перелік марок сталей, та біметалів які розширюють номенклатуру матеріалів, що можна використовувати в холодному та гарячому станах для отримання ГЗ і ШЗ.

2. Запропоновано методологію синтезу нових конструкцій і ТП виготовлення ГЗ і ШЗ та технологічного спорядження для їх реалізації, що включає: способи їх структуризації та опису за допомогою структурних формул на основі виявлення ієрархічної підпорядкованості елементів їх структури, способи генерування та автоматизованого оцінювання важливості альтернатив в середовищі пакету T-FLEX CAD 3D на основі методу аналізу ієрархій і теорії нечітких множин, операції перетворення структурних формул для отримання нових технічних рішень та оцінки їх якості в цілому на основі використання алгебри логіки антонімів. Використання такої методології забезпечує структурний еволюційний синтез технічних систем виробництва розглядуваних заготовок. Реалізація методології дозволила отримати нові прогресивні технічні рішення.

3. Вперше розроблено економічно-математичну модель вибору ефективних технологічних процесів виготовлення ГЗ і ШЗ з урахуванням технологічних можливостей виробництва та розроблено програмне забезпечення для розрахунку їх виробничої собівартості, що дозволило автоматизувати процес обґрунтування ефективності вибору таких технічних рішень.

4. Розроблено багаторівневу систему класифікації конструкцій ГЗ і ШЗ та технологій їх виготовлення методами лиття металів і сплавів, оброблення тиском і різанням, формування з полімерних матеріалів, кераміки і гуми, порошкової металургії, пошарового синтезу з термінологічним визначенням можливих видів таких заготовок та технологічних операцій їх отримання, що дало можливість їх однозначно ідентифікувати, ввести та обґрунтувати введені поняття ШЗ, секційної, накладної, НСГЗ та ін. видів ГЗ за конструктивно-технологічними ознаками, а також покладено в основу їх однозначної ідентифікації, уніфікації, створеної бази даних, а також синтезу технологічних способів, заготовок та деталей машин типу шнеків. Запропоновано нові види ГЗ і ШЗ (НСГЗ та ГЗ із замкненими твірними РК-лініями огиначаючих крайки витків поверхонь переносу), використання яких розширило номенклатуру та типорозміри нових деталей машин типу шнеків, тим самим збільшивши сфери їх використання.

5. Розроблено науково-практичні передумови для параметричної стандартизації ГЗ і ШЗ, яка містить інформацію про масу, номінальні значення та зв'язки геометричних параметрів різних видів таких виробів (фасонних, стрічкових) для різних способів їх виготовлення (навивання, вальцювання і листового штампування), згідно з діючими вітчизняними та зарубіжними стандартами з урахуванням новітніх досягнень у технологіях їх виготовлення, що є основою для створення гармонізованих вітчизняних стандартів. Створені ряди охоплюють 6000 типорозмірів ГЗ.

6. На основі методу скінчених елементів досліджено вплив геометричних параметрів початкових заготовок, температури їх нагрівання, мастильних матеріалів та параметрів інструментів на енергосилові показники процесу формоутворення та конструктивні параметри ГЗ, які отримують методами вальцюванням неперервно-секційних смугових заготовок, навивання на ребро на оправу гофрованих, криволінійних

та неперервно-секційних заготовок, а також формування секційних ГЗ в штампах із різнопрофільних кільцевих секторних заготовок. Отримані результати дозволили виробити рекомендації щодо зменшення на 15% енергозатрат та забезпечити отримання якісних заготовок.

7. Вперше визначено аналітичні залежності зв'язку параметрів початкових заготовок та інструментів із силовими показниками процесу формоутворення та конструктивними параметрами НСГЗ, які отримують способами вальцювання, навивання, гнуття та профілювання, що дозволило розробити інженерну методику проектування заготовок.

8. Запропоновано енергоекономні способи та технологічне спорядження для виготовлення ГЗ і ШЗ методами оброблення тиском, зварювання та формування з полімерних матеріалів, кераміки і гуми для умов одиничного (в т.ч. ремонтного) та дрібносерійного виробництва на базі використання існуючого парку універсального та спеціального устаткування. Вони забезпечують на 30% підвищення коефіцієнту використання матеріалу і до 40% зменшення енергетичних витрат. Розроблена технологія виготовлення ГЗ і ШЗ способом повітряно-плазмового різання дозволяє отримувати такі заготовки з високолегованих, корозійностійких, жаростійких і жароміцних сталей з товщиною H витка більше 3-5мм і шириною B до 50-70мм; з низьколегованих і низьковуглецевих сталей з $H > 12-14$ мм і $B > 30$ мм; з чавуну з $B < 90$ мм, з полімерних матеріалів з $B < 160$ мм. Технологія виготовлення прямих і косих широковиткових ГЗ способом вальцювання суцільних смуг дозволяє отримувати такі заготовки із $b < 60$, $\psi < 2,2$, $K_T < 0,8$; технологія виготовлення НСГЗ способами гнуття, профілювання, розганяння з осаджуванням – $b < 120$, $\psi < 4,5$, $K_T < 2,0$; технологія профілювання з навиванням суцільних смуг – $b < 40$, $\psi < 3,5$, $K_T < 0,8$; навивання НСЗ $b < 120$, $\psi < 4,5$, $K_T < 1,8$; вальцювання НСЗ $b < 120$, $\psi < 4,5$, $K_T < 1,2$; отримання СГЗ формуванням зі скручуванням КСЗ $b < 120$, $\psi < 3,5$, $K_T < 2,0$; навивання суцільних стрічок $b < 26$, $\psi < 3,0$, $K_T < 1,2$. Розроблено науково-практичні засади реалізації таких технологій. Технічна новизна таких розроблень захищена 74-ма патентами України на винаходи і корисні моделі. На цій основі створено нові конкурентоздатні гвинтові робочі органи машин різного службового призначення, технічна новизна яких підтверджена 19-ма патентами України на винаходи і корисні моделі.

9. Запропоновано методику ієрархічної структуризації та формалізованого опису конструкцій ГЗ і ШЗ та способів їх формоутворення за допомогою структурних формул, що враховують особливості форми та функціонально-змінні залежності геометричних параметрів і поєднують структурні формули компоновання технологічного устаткування з видом заготовки, рухами її ділянок, а також вид силової дії інструменту на таку заготовку, що є основою їх параметричного синтезу в середовищі систем параметричного проектування і креслення та методики пошуку необхідного устаткування для реалізації способів їх виготовлення. На основі цього розроблено нові види ГЗ із замкненими твірними РК-лініями огинаючих крайки витків поверхонь переносу, які використано у конструкціях робочих органів гвинтових очисників та тістомісильних машин. Параметричний синтез нових схем формоутворення різнопрофільних ГЗ на основі дослідження аксоїдів інструментів дозволив отримати нові способи формоутворення гофрованих ГЗ.

10. Вперше розроблено модель узагальненого ТП виготовлення ГЗ і ШЗ, який є спільною частиною багатоваріантної структури технологій виготовлення різнорідних

деталей з гвинтовими поверхнями. У ньому одночасно втілено принципи уніфікації за рахунок поєднання типових та групових операцій, що є основою інформаційного забезпечення проектування уніфікованих технологій виготовлення таких заготовок. На основі цього створено базу даних типових технологічних операцій виготовлення ГЗ і ШЗ в рамках яких виділено типові конструкції технологічного спорядження, інструментів, схем формоутворення, компоновання технологічного устаткування. Для кожної операції визначено граничні значення (нормативно-довідкові дані) показників технологічності, які визначають умови доцільної реалізації таких операцій.

11. Розроблена інженерна методика проектування ТП та конструкторсько-технологічна документація для виготовлення навивних, секційних і НСГЗ на основі використання системи параметричного проектування і креслення T-FLEX, що дозволило скоротити терміни проектування ТП на 16%, а працемісткість проектних робіт – на 25%.

12. Викладені в дисертаційній роботі положення, підходи, методики, результати теоретичних та експериментальних досліджень використані у навчальному процесі ТНТУ імені Івана Пулюя при підготовці фахівців за спеціальністю 7.090202 “Технологія машинобудування” і впроваджені у виробництво для отримання гвинтових спіралей шнекових робочих органів, циклонів та ребристих труб теплообмінників на підприємствах ВАТ “Машзавод”, “Універст”, РЕМЗ “Обрій”, що дозволило отримати середній економічний ефект в розмірі 28 грн. у розрахунку на 1 погонний метр шнекового робочого органу. Згідно з методикою визначення економічної ефективності (затверджена Міністерством економіки та з питань європейської інтеграції та Міністерством фінансів України, № 218/446 від 26.09.01) загальна оцінка науково-технічного рівня результатів наукових напрацювань складає 7,2 бала. Такі розробки відповідають світовому рівню.

СПИСОК ОСНОВНИХ ОПУБЛІКОВАНИХ РОБІТ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Монографії

1. Технологічні основи формотворення різнопрофільних гвинтових заготовок / Б.М. Гевко, М.І. Пилипець, В.В. Васильків, Д.Л. Радик. – Тернопіль: Вид-во ТДТУ ім. І. Пулюя, 2009. – 457 с. – ISBN 966-305-014-4. (здобувачем підготовлені підрозділи 4.5.2-4.5.4, 4.6, 4.9, 6.4 в яких викладено методику опису і синтезу заготовок, технології їх виготовлення, наведено обґрунтування й математичні моделі різних видів ГЗ, описано нові їх конструктивні реалізації та схеми контролю геометричних параметрів).

2. Пилипець М.І. Проектування секційних гвинтових заготовок / М.І. Пилипець, В.В. Васильків. – Тернопіль: Вид-во ТНТУ ім. І. Пулюя, 2013. – 180 с. – ISBN 978-966-305-046-1. (здобувачем запропонована система кодування й класифікації різних видів СГЗ, а також структуровано аналітичні, табличні, графічні та комп'ютерні методи їх проектування, запропоновано базу даних марок матеріалів, які доцільно використовувати для отримання таких заготовок, проведено дослідження вітчизняної і закордонної термінології для їх ідентифікації).

Статті у фахових наукових журналах і збірниках

3. Васильків В.В. Методика кодування структури і основних конструктивно-технологічних особливостей об'єктів уніфікаційного синтезу на основі їх графових моделей / В.В. Васильків // Вісник ХДТУСГ Мінагрополітики України. – Харків: Вид. відділ ХДТУСГ. – 2007. – Вип. 59. – Т. 1. – С. 245 – 251.

4. Васильків В. Метод еволюційного синтезу інноваційних технологічних процесів виготовлення деталей машин / В. Васильків // Вісник ХНТУСГ ім. П. Василенка: “Технічний сервіс АПК, техніка та технології у сільськогосподарському

машинобудуванні”. – Харків: ХНТУСГ. – 2009. – Вип. 77. – С. 421 – 433.

5. Васильків В. Методика вибору перспективних нових технічних рішень із множини їх синтезованих варіантів в уніфікаційному синтезі / В. Васильків, С. Бабарика // Вісник ХНТУСГ ім. П. Василенка: “Вдосконалення технологій та обладнання виробництва продукції тваринництва”. – Харків: ХНТУСГ – 2009. – Вип. 78. – С. 309 – 321. *(здобувачем запропоновано методика оцінювання ефективності об’єктів синтезу)*.

6. Васильків В. Автоматизоване проектування технологічних процесів виготовлення широкосмугових гвинтових зготовок / В. Васильків, О. Лясота, Б. Бригадир // Наукові нотатки. – Луцьк: ЛНТУ – 2009. – Вип. 24. – С. 34 – 42. *(здобувачем запропоновано конструкторсько-технологічна документація та інженерна методика проектування ТП виготовлення навивних, секційних і НСГЗ)*.

7. Васильків В. Синтез нових конструкцій гвинтових робочих органів машин внесення твердих органічних добрив / В. Васильків, І. Гевко, С. Бабарика // Вісник ДДАУ “Сучасні проблеми землеробської механіки”. – № 2 – 09. – 2009. – С. 170 – 173. *(здобувачем запропоновано методика синтезу на основі використання множини нових конструкцій ГЗ)*.

8. Васильків В. Нові способи формоутворення широкосмугових гвинтових заготовок з листового прокату / В. Васильків // Обробка матеріалів тиском. – № 2 (21) – 2009. – С. 178 – 183.

9. Васильків В. Використання логіки антонімів при моделюванні інноваційних технічних систем і у задачах їх синтезу / В. Васильків, М. Левкович, П. Босюк // Обчислювана математика і математичні проблеми механіки: зб. наук. пр. / Під заг. ред. В.Л. Макарова, І.О. Луковського, Р.М. Кушніра. – Львів: ППММ ім. Я.С. Пістригача НАН України. – 2009. – С. 252 – 255 *(здобувачем запропоновано методика оцінки якості ієрархічно структурованих систем в цілому на основі використання алгебри логіки антонімів)*.

10. Васильків В. Методи розрахунку розгортки витків штампозварних гвинтових заготовок / В. Васильків // Вісник ХНТУСГ ім. П. Василенка: “Технічний сервіс АПК, техніка та технології у сільськогосподарському машинобудуванні”. – Харків: ХНТУСГ. – 2010. – Вип. 92. – С. 421 – 433.

11. Васильків В.В. Структурна декомпозиція, синтез і вибір альтернатив при формуванні структури нових технічних систем / В. Васильків // Вісник ХНТУСГ ім. П. Василенка: “Проблеми технічної експлуатації машин. Системотехніка і технології лісового комплексу”. – Харків: ХНТУСГ. – 2010. – Вип. 94. – С. 222 – 230.

12. Васильків В. Синтез схем формоутворення гвинтових заготовок / В. Васильків // Обробка матеріалів тиском. – № 1 (22) – 2010. – С. 167 – 173.

13. Васильків В.В. Показники технологічності гвинтових заготовок / В. Васильків, О. Лясота // Машинознавство. – 2010. – № 8 (158). – С. 39 – 47. *(здобувачем розроблено систему показників технологічності ГЗ)*.

14. Васильків В.В. Технології та обладнання для виготовлення гвинтових гофрованих заготовок / Васильків В.В. // Обробка матеріалів тиском. – 2011. – Вип. 1 (26). – С. 119 – 127.

15. Васильків В.В. Технології виготовлення секційних гвинтових заготовок // В.В. Васильків / Зб. наук. праць КНТУ. Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація. – Вип. 25. – 2012. – Ч. 2 – С. 334 – 342.

16. Васильків В.В. Технології виготовлення комбінованих шнекових заготовок із секційних та секційно-зварних гвинтових заготовок // В.В. Васильків / Вісник ХНТУСГ ім. П. Василенка. Ресурсозберігаючі технології, матеріали та обладнання у ремонтному виробництві. – Харків: ХНТУСГ – 2013. – Вип. 133. – С. 194 – 199.

17. Васильків В.В. Методика вибору ефективних технологічних процесів

виготовлення гвинтових і шнекових заготовок / Васильків В.В. // Обробка матеріалів тиском. – 2014. – Вип. 1 (38). – С. 97 – 102.

18. Дудін О.В. Використання морфологічних таблиць для опису структурно-параметричних характеристик технічних систем на прикладі верстатного та конвеєрного обладнання / О.В. Дудін, В.В. Васильків, С.В. Дудін // ВХДТУСГ Мінагрополітики України. – Харків: Вид. відділ ХДТУСГ. – 2007. – Вип. 59. – Т. 1. – С. 228 – 237. *(здобувачем запропоновано способи структуризації та опису технічних систем за допомогою структурних формул на основі виявлення ієрархічної підпорядкованості елементів їх структури).*

19. Класифікація гвинтових профілів за конструктивними ознаками. Частина I / М.І. Пилипець, В.В. Васильків, Д.Л. Радик, О.М. Лясота // Вісник ХДТУСГ Мінагрополітики України. – Харків: Вид. відділ ХДТУСГ. – 2006. – Вип. 44. – С. 175 – 181. *(здобувачем розроблено класифікацію профілів поперечного перетину витків).*

20. Класифікація профілів гвинтових заготовок за геометричними формами / М.І. Пилипець, В.В. Васильків, Д.Л. Радик, О.М. Лясота // Вісник інженерної академії України. – К: Вид-во МВС України. – 2007. – Вип. 1. – С. 88 – 99. *(здобувачем розроблено класифікації ГЗ зі складними формами крайок витків).*

21. Пилипець М.І. Метод синтезу технологій виготовлення широкосмугових гвинтових заготовок / М.І. Пилипець, В.В. Васильків // Вісник СевНТУ. – 2012. – Вип. 128. – С. 169 – 177. *(здобувачем розроблено модель ТП і метод синтезу).*

22. Пилипець М.І. Структуризація та формалізований опис гвинтових заготовок / М.І. Пилипець, В.В. Васильків // Прогрессивные технологии и системы машиностроения. Междунар. сб. научн. тр. – Вып. 1, 2 (46) – 2013. – С. 250 – 260. *(здобувачем розроблено систему багаторівневої класифікації ГЗ і ШЗ та запропоновано термінологічне визначення різних їх видів).*

23. Пилипець М.І. Особливості проектування та виготовлення широкосмугових вальцьованих гвинтових заготовок / М.І. Пилипець, В.В. Васильків // Автоматизація виробничих процесів і технічний контроль у машинобудуванні та приладобудуванні. – 2013. – № 772. – С. 45 – 56. *(здобувачем отримано аналітичні залежності зв'язку параметрів початкових заготовок із силовими показниками процесу формоутворення та конструктивними параметрами ГЗ, які отримують способами вальцювання, запропоновано інженерну методіку проектування таких заготовок).*

24. Пилипець М.І. Узагальнений технологічний процес виготовлення гвинтових і шнекових заготовок / М.І. Пилипець, В.В. Васильків // Вісник інженерної академії України. – 2014. – Вип. 1. – С. 192 – 200. *(здобувачем розроблено модель узагальненого ТП та базу даних).*

25. Пилипець М.І. Дослідження зусиль формовки секційних гвинтових заготовок / М.І. Пилипець, В.В. Васильків, Бобрик В.В. // Прогресивні технології і системи машинобудування. – 2014. – № 2 (48). – С. 57 – 61. *(здобувачем досліджено вплив геометричних параметрів КСЗ і мастильних матеріалів на енергосилові показники процесу формоутворення та конструктивні параметри, ГЗ, які отримують методом формування СГЗ в штампах; вироблено практичні рекомендації щодо ефективного використання такої технології).*

26. Методика кодування гвинтових профілів / В.В. Васильків, Д.Л. Радик, О.М. Лясота, В.Й. Кричківський // Вісник ХДТУСГ. – Харків: ХДТУСГ – 2005. – Вип. 42. – С. 73 – 79. *(здобувачем запропоновано методіку ієрархічної структуризації та формалізованого опису форми ГЗ і ШЗ за допомогою структурних формул).*

Праці у закордонних виданнях

27. Васильків В.В. Автоматизированная линия для производства широкополосных винтовых заготовок повышенной жесткости / В.В. Васильків, О.М. Лясота, Б.Т. Бригадир // Тр. IV Междунар. научно-техн. конф. “Современные проблемы машиностроения”. – Томск: Изд-во ТПУ. – 2008. – С. 643 – 647. *(здобувачем запропоновано технологічний спосіб формоутворення і компонування автоматизованої лінії).*

28. Васылькiв В.В. Методы формoобразoвания винтoвых заготовoк. Термины и oпределения. / В.В. Васылькiв, Д.Л. Радык, П.В. Бoсюк // Матер. VII Мeждунар. научнo-техн. гoнф. “Динамика систем, механизмoв и машин”. – Омск: Изд-во ОмГТУ. – 2009. – Книга 2. – С. 225 – 232. *(здобувачем запропoновано розроблено систему класифікації та термінологічного визначення технологічних операцій вигoтовлення ГЗ і ШЗ).*

29. Васылькiв В.В. Эффективные технологии изготовления фасонных винтовых заготовок / В.В. Васылькiв, М.Г. Левкович, Р.В. Комар // Новые материалы и технологии в машиностроении. – Брянск: БГИТА. – Вып. 12. – 2010. – С. 8 – 12. *(здобувачем розроблено нові технології та проведено обґрунтування їх ефективності).*

30. Васылькiв В.В. Многовариантная структура новых способов формoобразoвания винтoвых заготовoк / В. Васылькiв // Тр. V Мeждунар. научнo-техн. кoнф. “Сoвременные проблемы машиностроения”. – Томск: Изд-во ТПУ – 2010. – С. 544 – 550.

31. Васылькiв В.В. Технология изготовления навивных винтовых заготовок / В.В. Васылькiв / Вестник ТулГУ. Автоматизация: проблемы, идеи, решения: Матер. Мeждунар. научнo-техн. кoнф. “АПИР-15”. / Под ред. В.В. Прейса, Е.В. Давыдовой – В 2 –х частях. – Ч. 2. – Тула: Изд-во ТулГУ. – 2010. – С. 56 – 61.

32. Васылькiв В.В. Показатель технологичности изготовления винтовых заготовок методом гибки полосы на ребро / В.В. Васылькiв // Сoвременные проблемы машиновeдения: тез. докл. IX Мeждунар. научнo-техн. кoнф. / Под общ. ред. Тимошина С.И. – Гoмель: ГГТУ им. П.О. Сухoго. – 2012. – С. 33.

33. Васылькiв В.В. Исследование влияния температуры нагрева и материала смазочного вещества на энергосиловые параметры процесса изготовления навивных винтовых заготовок / В.В. Васылькiв, В.В. Бoбрык // Новые материалы и технологии в машиностроении. – Брянск: БГИТА. – Вып. 17. – 2013. – С. 16 – 20. *(здобувачем досліджено вплив геометричних параметрів початкових заготовок, температури їх нагрівання, мастильних матеріалів на енергосилові показники процесу формoутворення ГЗ та вироблено практичні рекомендації щодо ефективного використання такої технології).*

34. Васылькiв В.В. Исторические и современные аспекты использования и изготовления деталей типа шнеков / В.В. Васылькiв // Сб. ст. участников VII Мeждунар. научнo-практ. кoнф. “Иновации в технологиях и образовании”: в 4 ч. – Белово: Изд-во филиала КузГТУ в г. Белово, Россия; Изд-во ун-та “Св. Кириллa и Св. Мeфoдия”, Велико Търново, Болгария, 2014. – Ч. 1. – С. 19 – 23.

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

36. Васылькiв В.В. Параметрическая стандартизация деталей типа шнеков, изготавливаемых из винтовых и шнековых заготовок / В.В. Васылькiв // Энергосбережение, информационные технологии и устойчивое развитие: электронное научн. изд.: сб. матер. Мeждунар. научнo-практ. интернет-кoнф. – Ижевск: ФГБОУ ВПО “ИжГТУ имени М.Т. Калашникова”. – 2014. – С. 168 – 172.

37. Васылькiв В.В. Применение воздушно-плазменной резки при изготовлении винтовых и шнековых заготовок деталей типа шнеков // В.В. Васылькiв / Машиностроение и безопасность жизнедеятельности. – 2014. – № 2. – С. 39 – 47.

38. Васылькiв В.В. К вопросу классификации технологий изготовления изделий методом послойного синтеза / В. Васылькiв // Сoвременные проблемы машиновeдения: тезисы докладов X Мeждунар. научнo-техн. кoнф. / Под общ. ред. проф. Тимошина С.И. – Гoмель: ГГТУ им. П.О. Сухoго. – 2014. – С. 103 – 104.

39. Васылькiв В.В. Применение технологий послойного синтеза при изготовлении винтовых и шнековых заготовок / В. Васылькiв // Сб. тр. Мeждунар.

научно-техн. конф. “Актуальные проблемы современного машиностроения”. – Томск: Изд.-во ТПУ – 2014. – С. 278 – 284.

40. Васильків В.В. Технологии изготовления литых винтовых и шнековых заготовок / В.В. Васильків // Научни трудове на Русенския университет. Механика и машиностроителни технологии. – Русен: Изд.-во Русенски университет “Ангел Кънчев” – 2014. –Т. 53. – Серия 2. – С. 163 – 168.

41 – 104. Патенти України №№ 22581, 42572, 42573, 44066, 44500, 44545, 44551, 45066, 48550, 48610, 50090, 50091, 50637, 52565, 52566, 53191, 54203, 56734, 56790-56792, 56795, 58380, 58381, 59391, 62000, 62003, 64309, 64318-64321, 64532, 65973, 69474, 70380, 70382, 70378, 70379, 71441, 72232, 73009, 73010, 74208, 76010, 76012, 78634, 78635, 82073, 82078, 82254, 82255, 84937, 85229, 86796, 87309, 87770, 88644, 88645, 92696, 95076, 93257, 93920, 95458. (вносок здобувача полягає у розробленні основної ідеї способів і технологічного спорядження для виготовлення широковиткових ГЗ і ШЗ).

Праці у матеріалах і тезах наукових, науково-технічних і науково-практичних конференцій, семінарів та симпозіумів

105. Васильків В.В. Усовершенствованная технология изготовления деталей типа шнеков из навивных винтовых заготовок / Тези доп. Міжнар. наук.-техн. конф. “Теоретичні та прикладні задачі обробки металів тиском та автотехнічних експертиз”. – Вінниця: ВНТУ. – 2011. – С. 152 – 155.

106. Васильків В.В. Про використання принципів генетики та аналізу і синтезу конструкцій дискових і гвинтових робочих органів і технологічних процесів їх виготовлення / В. Васильків // Праці 1-ої Міжнар. наук.-техн. конф. “Теорія та практика раціонального проектування, виготовлення і експлуатації машинобудівних конструкцій”. – Львів: КІНПАТРИ ЛТД. – 2008. – С. 137 – 139.

107. Васильків В. Структура геометричного моделювання об'єктів в уніфікаційному синтезі / В. Васильків // Пр. 9-го Міжнар. симп. українських інженерів-механіків у Львові. – Львів: КІНПАТРИ ЛТД. – 2009. – С. 158 – 160.

108. Васильків В. Досвід виготовлення широковиткових гвинтових заготовок / В. Васильків // Матер. Міжнар. наук.-техн. конф. присвяченої 50-и річчю ТНТУ ім. І. Пулюя та 165-и з дня народження Івана Пулюя. – 2010. – С. 131 – 132.

109. Васильків В.В. Технології виготовлення деталей типу “шнеки” з використанням полімерних матеріалів / В. Васильків // Праці 10-го Міжнар. симп. українських інженерів-механіків у Львові. – Львів: КІНПАТРИ ЛТД. – 2011. – С. 219 – 221.

110. Васильків В. Розрахунок прогинів гвинтових заготовок у процесі їх виготовлення / В. Васильків, В. Киселиця, М. Радик // Матер. Міжнар. наук.-практ. конф. молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій». – Тернопіль: ТНТУ ім. І. Пулюя – 2012. – С. 64 – 65. (здобувачем запропоновано критерій оцінювання та встановлено закономірності прогину комбінованої ШЗ при її виготовленні).

111. Васильків В. Дослідження впливу конструктивних параметрів гофрованих смуг на енергосилові параметри одержання гофрованих навивних заготовок / В. Васильків, О. Лясота // Тези доп. XVII наук. конф. ТНТУ імені Івана Пулюя. – Том 2. – Тернопіль. – 2013. – С. 8. (здобувачем досліджено вплив геометричних параметрів початкових заготовок та технологічних умов на енергосилові показники процесу отримання ГЗ та вироблено практичні рекомендації щодо ефективного використання такої технології).

112. Пилипець М.І. Структуризація інформації про технічні системи на етапі розроблення концепцій / М.І. Пилипець, В.В. Васильків // Тр. 16-ої Междунар. научно-техн. конф. “Физические и компьютерные технологии”. – Харьков: ХНПК “ФЭД”, 2010. – С. 72 – 79. (здобувачем розроблено методіку ієрархічної структуризації та формалізованого опису технічних систем).

113. Пилипець М.І. Уніфікація конструкцій гвинтових заготовок / М.І. Пилипець, В.В. Васильків // Тези доп. 11-го Міжнар. симп. укр. інж.-мех. у Львові. – 2013. – С. 169 –

170. (здобувачем запропонована та обґрунтовано принципи уніфікації конструкцій ГЗ і ШЗ).

114. Пилипець М.І. Нові технології виготовлення полімерних гвинтових і шнекових заготовок / М.І. Пилипець, В.В. Васильків // Зб. наук. пр. III Всеукр. наук.-техн. конф. "Прогресивні технології в машинобудуванні". – Львів: Вид-во НУ "Львівська політехніка". – 2015. – С. 86 – 88. (здобувачем запропоновано способи та технологічне спорядження для виготовлення ГЗ і ШЗ).

АНОТАЦІЯ

Васильків В.В. Розвиток науково-прикладних основ розроблення технологій виробництва гвинтових і шнекових заготовок з використанням уніфікації. – На правах рукопису. Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.02.08 – технологія машинобудування. – Національний університет "Львівська політехніка", Львів, 2015.

Дисертаційна робота присвячена важливій науково-технічній проблемі розроблення, уніфікації, вибору та впровадження нових конструкцій і енергоефективних, ресурсощадних технологій виготовлення гвинтових (ГЗ) і шнекових заготовок (ШЗ) з урахуванням технологічних можливостей та типу виробництва. Для цього запропоновано багаторівневу класифікацію, методику ієрархічної структуризації та формалізованого опису різних конструкцій заготовок та технологій їх виготовлення з термінологічним їх визначенням, систему показників технологічності заготовок, методологію синтезу заготовок та технологічних процесів. Розроблено модель узагальненого технологічного маршруту у якому втілено принципи уніфікації за рахунок поєднання типових та групових технологічних операцій, а також базу даних типових технологічних операцій та, на основі економіко-математичної моделі, методику вибору ефективних технологічних процесів. Досліджено вплив параметрів початкових заготовок, інструментів та технологічних умов на параметри ГЗ і енергосилові показники різних технологічних способів їх отримання. Створено передумови для параметричної стандартизації ГЗ і ШЗ, спроектовано та реалізовано ресурсоекономні та енергоефективні способи і технологічне спорядження для виготовлення широковиткових ГЗ і ШЗ, а також нові види таких заготовок. Використано результати проведених досліджень для створення нових робочих органів деталей машин типу шнеків.

Ключові слова: гвинтова заготовка, шнекова заготовка, технологічний процес, параметрична стандартизація, уніфікація, проектування, деталь типу шнек.

АННОТАЦИЯ

Васильків В.В. Развитие научно-прикладных основ разработки технологий производства винтовых и шнековых заготовок с использованием унификации. – Рукопись. Диссертация на получение научной степени доктора технических наук за специальностью 05.02.08 – технология машиностроения. – Национальный университет "Львовская политехника". – Львов, 2015.

Диссертационная работа посвящена важной научно-технической проблеме, которая заключается в разработке, унификации, выборе и внедрении новых конструкций и энергоэффективных, ресурсосберегающих технологий изготовления винтовых (ВЗ) и шнековых заготовок (ШЗ) с учетом технологических возможностей и типа производства. Для этого предложено многоуровневую классификацию, методику иерархической структуризации и формализованного описания различных конструкций заготовок и технологий их изготовления с терминологическим их определением, систему показателей технологичности заготовок, методологию синтеза заготовок и технологических процессов (ТП). Разработана модель обобщенного технологического маршрута, в котором воплощены

принципы унификации за счет сочетания типовых и групповых технологических операций, а также базу данных типовых технологических операций и на основе экономико-математической модели, методику выбора эффективных ТП. Исследовано влияние параметров начальных заготовок, инструментов и технологических условий на параметры ВЗ и энергосиловые показатели различных технологических способов их получения. Созданы предпосылки для параметрической стандартизации ВЗ и ШЗ, реализованы ресурсосберегающие и энергоэффективные способы и технологическое снаряжение для изготовления широковитковых ВЗ и ШЗ, а также новые виды таких заготовок. Результаты проведенных исследований использованы для создания новых деталей машин типа шнеков.

В первом разделе рассмотрены исторические и современные аспекты многовариантной структуры конструктивных реализаций деталей типа шнеков для решения различных технических задач. Показана целесообразность введения новых понятий для определения промежуточных заготовок в ТП изготовления таких деталей. На основе анализа современного состояния исследований и мониторинга рынка конструкций деталей типа шнеков, технологических методов и оборудования для их изготовления определены основные проблемные вопросы их использования.

Во втором разделе изложена программа, методика и условия проведения исследований и экспериментальной реализации разработанных методов изготовления ВЗ и ШЗ, методологию совершенствования систем проектирования и изготовления таких заготовок, описано разработанную систему показателей их технологичности, а также разработанное и использованное технологическое оборудование.

В третьем разделе описана методология синтеза новых конструкций и технологических процессов изготовления ВЗ и ШЗ и технологической оснастки для их реализации. В рамках этого показаны: способы структуризации технических систем на основе выявления иерархической подчиненности элементов их структуры; с помощью структурных формул информационная модель описания машиностроительных конструкций и ТП изготовления деталей машин; операции преобразования структурных формул; способы генерирования и оценки важности альтернатив на основе метода анализа иерархий и теории нечетких множеств; способ оценки качества синтезированной технической системы в целом. Описана концептуальная схема реализации упомянутой методологии синтеза.

В четвертом разделе изложены основные результаты структуризации, формализованного и математического описания и систему терминологического определения различных конструктивных вариантов исполнения ВЗ и ШЗ и технологических операций их изготовления, описано обобщенный технологический маршрут с типовыми и групповыми операциями получения таких заготовок, что является основой для их унификации и синтеза.

В пятом разделе рассмотрены вопросы структуры библиотек характеристик и типовых технических решений компонентов систем технологий изготовления ВЗ и ШЗ на основе цифрового кодирования. Приведены классификации и исследованы условия рационального использования методов обработки металлов давлением и резанием, литья металлов и сплавов, формообразования из полимерных материалов, керамики и резины, порошковой металлургии, послойного синтеза, сборки и сварки.

В шестом разделе приведены результаты параметрического синтеза новых схем формообразования разнопрофильных ВЗ на основе исследования аксоидов инструментов. Описаны методики формализованного описания и синтеза способов формообразования ВЗ и ШЗ с использованием теории компонетики. Предложенный способ создания их конструкций со сложными формами огибающих кромки витка, а также усовершенствован метод структурного эволюционного синтеза необходимой оснастки и инструментов.

В седьмом разделе определены аналитические зависимости связи параметров начальных

заготовок и инструментов с силовыми показателями процесса формообразования и конструктивными параметрами ВЗ, которые получают способами вальцовки, навивки, гибки и профилирования. Приведены результаты экспериментальных исследований технологий формообразования широковитковых вальцованных ВЗ, секционных ВЗ, витых заготовок и показателя их технологичности, ВЗ и ШЗ, которые получают способом воздушно-плазменной резки.

В восьмой главе описаны особенности разработанных ТП изготовления ВЗ и ШЗ методами обработки давлением, формообразования из полимерных материалов, керамики и резины, сборки, сварки, а также литья в формы с закладными спиралями. Также рассмотрены особенности получения упомянутых заготовок с использованием полимерных материалов на основе методов получения неметаллических неорганических и органических покрытий. Показано варианты конструктивного исполнения новых видов НСГЗ и начальных заготовок, которые целесообразно использовать для их формообразования. Описана разработанная методика проектирования заготовок и технологического снаряжения на базе использования системы параметрического черчения T-FLEX CAD. Отражено использование полученных результатов в производстве, научно-исследовательской и педагогической работе, а также перспективы дальнейших исследований.

Ключевые слова: винтовая заготовка, шнековая заготовка, технологический процесс, параметрическая стандартизация, унификация, проектирование, деталь типа шнек.

ANNOTATION

Vasylykiv V.V. The development of scientific-applied bases for creation of technologies of manufacturing of helical and auger billets with use unification. – Manuscript. Dissertation for awarding the scientific degree of Doctor of Engineering Sciences in specialism 05.02.08 – Mechanical Engineering. – National University “Lviv Polytechnic”. – Lviv, 2015.

Dissertation is devoted to the important scientific-technological problem which deals with the development, unification, selection and implementation of new designs and energy-efficient, resource-saving technologies of manufacturing helical and auger billets, taking into account technological possibilities and the type of production. For this a tiered classification methodology for hierarchical structuring and formalized description of the various designs of blanks and technologies of their production from their terminological definition scorecard technological blanks, blanks synthesis methodology and technological process are suggested. A model of a generalized technological route which embodies the principles of unification through a combination of standard and group technical operations is developed. A database of typical technological operations and on the basis of economic and mathematical models, method of selecting effective technological process is created. The influence of the parameters of the initial preparations, tools and technological conditions on the parameters of helical blanks and energy-power parameters of various technological methods for their preparation are investigated. Prerequisites for parametric standardization helical and auger billets are created. The resource-saving and energy-efficient processes and technological equipment for the production of wide-strip helical and auger billets, as well as new types of work pieces have been proposed. The results of research for create new working bodies of screw parts are used.

Key words: helical billet, auger billet, manufacturing process, parametric standardization, unification, design, screw part.

Підписано до друку 27.10.2015 р.
Формат 60×90 Папір ксероксний.
Обл. вид. арк. 1,9
Наклад 130 прим. Зам. № 2619

Видавництво Тернопільського національного
технічного університету імені Івана Пулюя

вул. Руська, 56, м. Тернопіль, 46001
E-mail: vydavnytstvo@tu.edu.te.ua