

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»**



КУПРІЯНОВ ОЛЕКСАНДР ВОЛОДИМИРОВИЧ

УДК 621.757

**ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ ВИСОКОТОЧНИХ З'ЄДНАНЬ В УМОВАХ
СЕРІЙНОГО ВИРОБНИЦТВА НА ОСНОВІ ІНФОРМАЦІЙНОГО
СУПРОВОДУ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ СКЛАДАННЯ**

Спеціальність 05.02.08 – технологія машинобудування

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня
доктора технічних наук

Харків – 2016

Дисертацією є рукопис.

Роботу виконано на кафедрі інтегрованих технологій в машинобудуванні та зварювального виробництва Української інженерно-педагогічної академії (УІПА) Міністерства освіти і науки України.

Науковий консультант: доктор технічних наук, професор
Резніченко Микола Кирилович,
Українська інженерно-педагогічна академія, м. Харків,
завідувач кафедри інтегрованих технологій в
машинобудуванні та зварювального виробництва

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Пасічник Віталій Анатолійович,
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут», м. Київ,
завідувач кафедри інтегрованих технологій
машинобудування

доктор технічних наук, доцент
Ступницький Вадим Володимирович,
Національний університет «Львівська політехніка»,
м. Львів,
доцент кафедри технології машинобудування


доктор технічних наук, професор
Шелковий Олександр Миколайович,
Національний технічний університет «Харківський
політехнічний інститут», м. Харків,
професор кафедри технології машинобудування і
металорізальних верстатів

Захист відбудеться « 29 » вересня 2016 р. о 14⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.050.12 у Національному технічному університеті «Харківський політехнічний інститут» Міністерства освіти і науки України за адресою: 61002, м. Харків, вул. Фрунзе, 21.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут».

Автореферат розіслано « 27 » серпня 2016 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради

 Зубкова Н.В.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. У сучасному машинобудуванні спостерігається тенденція постійного підвищення точності виробів. Збільшується доля деталей і вузлів, технологія виготовлення яких потребує використання верстатів підвищеної точності, доводочних операцій і спеціальних складальних методів. Висуваються підвищені вимоги до похибки геометрії форми, у приміщеннях витримується спеціальний температурний режим. До високоточних, як правило, відносяться деталі з розмірами за 5 – 7 квалітетами. Сюди відносяться вироби паливної апаратури, окремі вузли двигунів внутрішнього згорання, металорізальних верстатів, високошвидкісних машин.

Точність з'єднань остаточно формується на складальних операціях, тому методи складання удосконалювалися разом з ростом точності обробки. Повна взаємозамінність, безумовно, стала самим значним досягненням серед складальних методів. Однак разом з подальшим ростом вимог до стабільності характеристик машин використання повної взаємозамінності стало висувати завищені вимоги до точності обробки, які ставили виробництво за межі економічної доцільності. Для високоточних з'єднань одержало широке поширення селективне складання, що називається також складанням із груповою взаємозамінністю, великою проблемою якого є незавершене виробництво. У випадку масового виробництва обсяг незавершеного виробництва залишається незначним у порівнянні з обсягом випуску виробів, і селективне складання виправдано.

Зниження серійності виробництва, що спостерігається останні десятиліття, змінило технологічні умови. Високоточні методи обробки, що використовують спеціальне устаткування і інструменти, які були доцільні в масовому виробництві, виявилися дорогими для виробництва з малою і нестабільною серійністю. Забезпечення, а тим більше зростання точності на етапі виготовлення високоточних деталей в умовах такого виробництва становить проблему сучасної технології машинобудування. Однак і розповсюджені методи підвищення точності на етапі складання, зокрема селективне комплектування, теж не ефективні, оскільки в умовах дискретно-нестабільного виробництва незавершене виробництво збільшується, у багатьох випадках перевищуючи обсяг випуску.

Таким чином, в умовах серійного виробництва високоточних з'єднань виникають певні технологічні труднощі при традиційних методах виготовлення, які пов'язані з прецизійною обробкою і складанням. Потрібен новий підхід до забезпечення точності на етапі складання, що використовує синергетичний ефект принципів повної і групової взаємозамінності на основі інформаційних технологій забезпечення раціональних складальних комплектів.

Широке поширення обчислювальної техніки на підприємствах разом зі зниженням вартості маркірування деталей дозволяє накопичувати і ефективно використовувати інформацію про дійсні розміри, похибки, точність деталей і

вузлів. Враховування індивідуальних особливостей дає додаткові технологічні резерви підвищення якості складання високоточних з'єднань.

Таким чином, науково-прикладна проблема досягнення точності серійного виробництва на етапі складання вузлів середнього машинобудування є актуальною і визначила напрям дисертаційної роботи. Її вирішення дозволить поліпшити якість, зменшити трудомісткість, збільшити продуктивність серійного складання високоточних з'єднань без збільшення витрат на етапах заготівельного виробництва і механообробки.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Роботу виконано на кафедрі інтегрованих технологій в машинобудуванні та зварювального виробництва Української інженерно-педагогічної академії, у рамках держбюджетних науково дослідних робіт МОН України: «Розробка технології одержання високоміцних з'єднань із системою контролю їх якості» (ДР № 0109U006229), «Розробка індукційно-нагрівальних систем для наскрізного та поверхневого нагрівання машинобудівних деталей електромагнітними полями» (ДР № 0108U010842), «Дослідження впливу сильних електромагнітних полів на феромагнітні деталі при їх нагрівання і складанні» (ДР № 0108U010841), «Розробка індукційного устаткування для нагрівання невісесиметричних деталей, та деталей зі складним профілем» (ДР № 0111U010322), «Дослідження впливу похибки геометрії форми на міцність з'єднань із натягом, зібраних індукційно – тепловим методом» (ДР № 0115U003275), в яких здобувач був виконавцем окремих етапів.

Мета і задачі дослідження. *Мета дослідження* – забезпечення якості високоточних з'єднань в умовах серійного виробництва організаційно-технологічними методами складання, які виключають незавершене виробництво, забезпечують мінімізацію розкиду параметрів з'єднань у партії без необхідності підвищення точності виготовлення деталей, що сполучаються, на основі використання інформації про їхні дійсні розміри.

Для досягнення мети поставлено наступні задачі:

- проаналізувати і узагальнити методи досягнення розмірної точності при складанні машинобудівних виробів, способи зберігання інформації про деталі, і придатність їх в умовах серійного виробництва;
- встановити технологічний зв'язок між методом комплектування під складання, розміром партії, обсягом незавершеного виробництва і стабільністю параметрів з'єднань у партії в умовах серійного виробництва;
- дослідити придатність запропонованого методу комплектування в умовах серійного виробництва;
- розробити математичну модель оптимізації розмірних зв'язків елементів у складальному вузлі, що дозволяє диференціювати якість складання під потреби замовника, і запропонувати розрахунок розмірних ланцюгів на її основі;

- розробити математичну модель міцності з'єднань із натягом, зібраних з термодією, що дозволяє визначати нижню межу міцності при малому обсязі випробувань в умовах серійного виробництва;
- встановити зв'язок між величиною і формою похибок геометрії форми деталей, що збирають із термодією, і міцністю з'єднання на зсув;
- розробити методику комплектування високоточних трьох- і багатоланкових складальних з'єднань;
- впровадити запропоновані методи організації серійного виробництва на машинобудівних підприємствах.

Об'єкт дослідження – технологічні процеси складання високоточних з'єднань в умовах серійного машинобудівного виробництва.

Предмет дослідження – закономірності комплектування деталей і вузлів під складання, що забезпечують мінімізацію розкиду параметрів з'єднань і виключають незавершене виробництво, а також установлення впливу похибки геометрії форми на міцність зібраного тепловим методом з'єднання з натягом.

Методи досліджень. В теоретичній частині роботи при статистичних експериментах по обчисленню імовірності і точності складальних процесів розроблено програми на Visual Basic for Applications, при дослідженні напружено-деформованого стану деталей з похибками геометрії форми використано метод скінчених елементів у Ansys, при дослідженні теплових і деформаційних процесів при складанні з термодією використано метод скінчених елементів у SolidWorks Simulation, отримання математичних залежностей і обчислення проведено в Maple. В експериментальній частині роботи використовувалися статистичні методи обробки даних, натурний та виробничий експерименти, які проводилися в лабораторіях кафедри інтегрованих технологій в машинобудуванні та зварювального виробництва, кафедри опору матеріалів, міжкафедральній лабораторії складальних процесів УПА, лабораторії кафедри опору матеріалів НТУ «ХП», Харківському тракторному заводі та промислових підприємствах м. Харкова.

Наукова новизна отриманих результатів полягає в тому, що на основі розвитку детермінованих методів досягнення точності замикаючої ланки лінійного розмірного ланцюга для рішення стохастичного завдання пошуку оптимальних розмірних зв'язків розроблено теоретичні положення управління якістю комплектування і складання високоточних з'єднань при зниженні собівартості виготовлення в умовах серійного виробництва.

Новизна базується на наступних наукових розробках:

- вперше запропоновано ранжирування за дійсними лінійними розмірами поверхонь з'єднань, що сполучаються, для організації комплектування деталей під складання виробів середнього машинобудування, що дозволяє підвищити якість складання високоточних з'єднань при обмеженій розмірній якості деталей в умовах серійного виробництва;
- вперше встановлено вплив похибки геометрії форми посадкової поверхні на міцність зібраного тепловим методом з'єднання з натягом для

різних величин і форм похибок і різних габаритів з'єднання;

- вперше запропоновано математичну модель оцінки дійсних розмірів деталей і систему контролю на основі ступеня наближення розмірної ланки до оптимального конструкторського значення;

- отримали подальший розвиток методи розрахунку розмірних ланцюгів на основі оцінки ступеня наближення розмірів замикаючої ланки до оптимального конструкторського значення;

- удосконалено імовірнісну модель оцінки міцності з'єднання з натягом на зсув, що дозволяє розрахувати гарантовану нижню межу міцності.

Практичне значення отриманих результатів для машинобудування складається в розробці рекомендацій з управління технологічним процесом складання високоточних виробів на основі інформації про дійсні параметри деталей і вузлів, що запам'ятовується на етапах обробки і складання, а технологія оптимізується за допомогою відповідної програми. Сукупність наведених науково-практичних положень і розробок становлять основи створення високоефективної технології комплектування під складання високоточних з'єднань, що статистично забезпечує їх якість. Практичні результати сформульовано у вигляді:

- методики розрахунку показників міцності зібраних циліндричних з'єднань із натягом за результатами експериментів на зсув, що дозволяє визначити силу, нижче якої не буде руйнування з'єднання;

- рекомендацій з розрахунку розмірних ланцюгів на основі ступеня наближення розмірів замикаючої ланки до оптимального конструкторського значення;

- рекомендацій з використання комплектування на основі ранжирування для підвищення точності замикаючої ланки розмірного ланцюга;

- розробленої комп'ютерної програми, що дозволяє автоматизувати процес підбору деталей у комплекти;

- номограми для спрощення інженерних розрахунків, що дозволяє прогнозувати ефективність комплектування через порівняння із селективним складанням;

- рекомендацій з використання систем інженерного аналізу при урахуванні впливу відхилень геометрії на напружено-деформований стан деталей;

Отримано патент України на спосіб комплектування деталей для складання. Результати дисертаційної роботи впроваджено на Попаснянському вагоноремонтному заводі (Луганська область) і ТОВ «Схід ЛіЗ» (м. Харків), використано при постановці спеціальних навчальних курсів для студентів спеціальності «Професійне навчання. Машинобудування» у УПА.

Особистий внесок здобувача. Положення і результати, що виносяться на захист дисертаційної роботи, отримано здобувачем особисто. Серед них методи комплектування на основі ранжування, модель оцінки дійсних параметрів на основі наближення розміру ланки до рекомендованого конструктором, проведені статистичне моделювання складального процесу і дослідження за

допомогою методу кінцевих елементів. В експериментальних дослідженнях впливу похибки геометрії форми на міцність з'єднання здобувач планував експерименти по механообробці і керував експериментами по складанню-розбиранню. В експериментальних дослідженнях по комплектуванню здобувач склав план проведення досліджень і провів обробку результатів. Програмні продукти для користувачів розроблено здобувачем особисто. Створення методики розрахунку показників міцності циліндричних з'єднань з натягом на зсув проведено спільно з співавторами.

Апробація результатів роботи. Основні положення роботи доповідалися і одержали позитивну оцінку на: науково-практичних конференціях УПА (2004, 2006, 2010, 2011, 2012, 2013, 2014, 2016, м. Харків), XVIII Міжнародній науково-практичній конференції «Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я» (2010, м. Харків), Міжнародних науково-практичних конференціях «Якість технологій – якість життя» (2010, м. Судак; 2011, м. Харків; 2012, Сонячний берег, Болгарія; 2013, м. Харків), Міжнародних конференціях «Нові технології в машинобудуванні» (2011, 2013, Рибаче; 2015, Коблево), XIX Міжнародній науково-технічній конференції «Машинобудування і техносфера XXI століття» (2012, м. Севастополь), VII Всеросійській конференції - семінарі «Науково-технічна творчість: проблеми і перспективи» (2013, м. Самара), Міжнародній науково-практичній конференції «Молодь і наука: модернізація і інноваційний розвиток країни» (2013, м. Пенза), Всеукраїнській науково-практичній конференції «Сучасні технології промислового комплексу» (2015, м. Херсон), а також на наукових семінарах кафедри інтегрованих технологій у машинобудуванні та зварювального виробництва Української інженерно-педагогічної академії і кафедри технології машинобудування і металорізальних верстатів Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут».

Публікації. Основний зміст дисертації відображено у 38 наукових публікаціях, з них: 23 статті у наукових фахових виданнях України (4 – у виданнях, включених до міжнародних наукометричних баз), 2 – у закордонних періодичних фахових виданнях, 1 патент України, 12 – у матеріалах міжнародних науково-технічних конференцій.

Структура й обсяг роботи. Дисертаційна робота складається зі вступу, шести розділів, висновків, списку використаних джерел, додатків. Загальний обсяг дисертації становить 405 сторінок, з них 108 рисунків по тексту; 34 таблиці по тексту; 2 таблиці на 1 сторінці; списку використаних джерел з 258 найменувань на 29 сторінках, 8 додатків на 109 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність і доцільність дисертації, сформульовано її мету та задачі, визначено об'єкт, предмет і методи дослідження, наукову новизну та практичну значимість роботи.

Перший розділ присвячено обґрунтуванню виробів для дослідження, аналізу існуючих підходів забезпечення і прогнозування якості складання високоточних з'єднань, опису устаткування для інформаційного забезпечення складальних процесів.

У розвиток принципів точності і проектування складання машинобудівних виробів великий внесок внесли такі вчені, як Балакшин Б.С., Бородачов М.О., Зиков О.О., Новіков М.П., Дальський А.М., Дунаєв П.Ф., Базров Б.М., Корсаков В.С., Лебедовський М.С. та інші. У роботі досліджено селективне складання, що відоме за працями Рабиновича А.Н., Бонч-Осмоловського М.О., Катковника В.Я., Савченко О.І., Непомилуєва В.В. У розробку технології складання з термодією великий внесок внесли Андреев Г.Я., Бобровніков Г.А., Арпентьев Б.М., Зенкін А.С. та інші.

У розділі конкретизовано поняття високоточних з'єднань; проаналізовано методи досягнення точності замикаючої ланки розмірного ланцюга; зроблено висновок, що переважний вплив на якість складальних операцій здійснюють правильна побудова і розрахунок розмірних ланцюгів; проаналізовано переваги і недоліки селективного складання як методу досягнення високої точності з'єднань при рядовій якості деталей, що застосовується в масовому виробництві; розглянуто вплив похибки вимірювального приладу на точність комплектування. Систематизовано математичний апарат, що застосовується для моделювання процесів і прогнозування якості складання; наведено дані впливу якості комплектуючих на якість складання. Окремо проведено огляд устаткування для інформаційного забезпечення складальних процесів, способів маркування деталей і виробів, що застосовуються в машинобудуванні.

Таким чином визначено, що підходи, які застосовуються для досягнення точності складання з'єднань, базуються на положеннях методу повної взаємозамінності, не в повній мірі використовують інформацію про дійсні параметри деталей; технологію орієнтовано на процеси масового виробництва.

У **другому розділі** на основі інформаційного супроводу технологій складання розроблено високоефективну технологію управління якістю комплектування для складання високоточних з'єднань в умовах серійного виробництва.

Пропонується вимірювати дійсні параметри комплектуючих, накопичувати їх в комп'ютерній базі даних і використовувати з метою поліпшення і оптимізації технологічного процесу складання. Дані повинні бути прив'язані до конкретних екземплярів деталей, для чого можуть застосовуватися адресні накопичувачі, або спеціальне маркірування на основі оптичних чи магнітних міток. Використання даних про розміри деталей дозволяє підняти ефективність технологічного процесу складання за рахунок інформаційного супроводу. Такий підхід потрібно організувати для всіх розмірів і деталей, але економічно доцільно почати з високоточних і відповідальних.

Пропонуються методи комплектування на основі індивідуального підбору, які при порівнянні із селективним складанням точності, менш схильні до її недоліків: наявності незавершеного виробництва, необхідності у великій серійності і низькій імовірності комплектування P .

Основними вимогами при підборі деталей у комплекти для складання з індивідуальним підбором є необхідність витримати допуск замикаючої ланки розмірного ланцюга в заданих межах (звичайно дуже вузьких), зібравши при цьому максимальне число деталей (бажано всі). Це завдання мінімаксне – необхідно так підібрати деталі певної партії в складальні комплекти, щоб мінімізувати максимальне відхилення дійсного зазору або натягу від оптимального з погляду конструктора. Таким чином при заданому оптимальному конструкторському зазорі або натязі ko серед усієї множини варіантів комплектування R необхідно знайти такий варіант M , що для множини складальних комплектів n і складальних розмірів x_i виконується

$$\min_{M \in R} \max_{i=1, n} (ko - x_i) = \max_{i=1, n} (ko - x_i^M). \quad (1)$$

Сутність запропонованих методів комплектування складається в ранжируванні деталей перед складанням і виборі в комплект деталі кожного типу з однаковим рангом. На позиції комплектування повинно знаходитися однакове число деталей кожного типу, що входять у складальну одиницю. Послідовність комплектування з ранжируванням:

1. Вимір посадкових розмірів всіх деталей, розміри запам'ятовуються, деталі маркуються або розміщуються в адресному накопичувачі.
2. Розміри впорядковуються для кожної деталі по зростанню – ранжирування.
3. У комплекти вибираються деталі з однаковим порядковим номером – рангом.
4. Складання проводиться звичайним для даного з'єднання способом.

Корисно, що у випадку комплектування з ранжируванням є необов'язковим, щоб розміри деталей перебували в межах допуску.

Запропоновано два способи організації комплектування вузлів, які визначимо як періодичний і безперервний процеси.

При *періодичному* процесі всі деталі з партій, що ранжовані, комплектуються і потім відправляються на складання. Таким чином, всі деталі, що надійшли на позицію комплектування, будуть складені, і якість підбору, обумовлена відхиленням розміру замикаючої ланки розмірного ланцюга від найкращого значення, визначається самим гіршим з отриманих комплектів.

При *безперервному* процесі на складання йде тільки найкращий за значенням розміру замикаючої ланки розмірного ланцюга комплект. Потім партії деталей на позиції комплектування доповнюються до початкового числа деталей, і знову проводиться ранжирування. Обирається кращий з отриманих комплектів і такий цикл повторюється. У цьому випадку якість підбору буде

визначатися найкращим після ранжирування комплектом і істотно вище періодичного комплектування.

Чим більше деталей, тим ефективніше можна організувати комплектування – є більше можливостей для підбору. Побудовано номограму (рис. 1), що дозволяє встановлювати потрібну кількість комплектів деталей при ранжируванні, у якості бази порівняння обрана дисперсія, а значить і точність селективного комплектування з певною кількістю груп селекції. Для партії в один комплект, тобто для складання з повною взаємозамінністю, дисперсія нормована як одиниця.

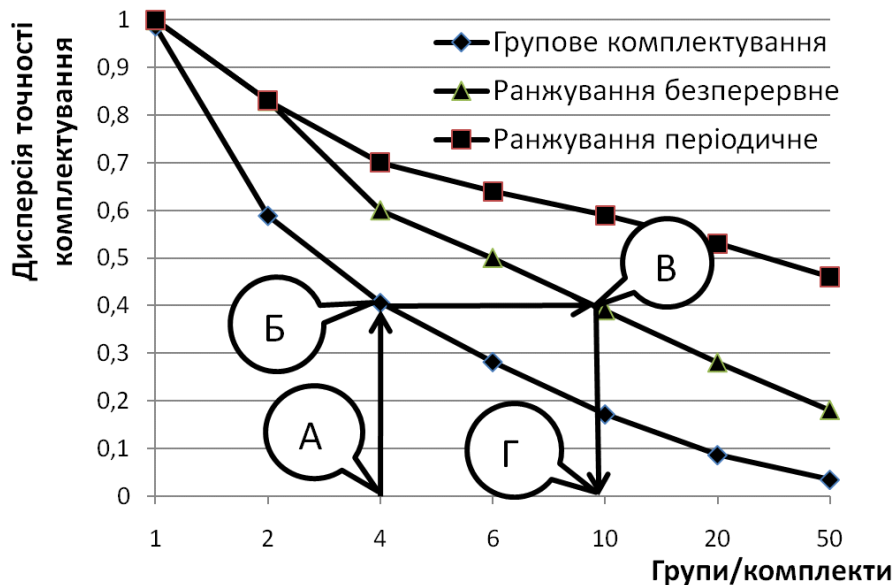


Рисунок 1 – Номограма для вибору розміру партії для комплектування на основі ранжирування

При використанні номограми обирається кількість груп селекції, що забезпечують необхідну точність комплектування (рис. 1 А), визначається відносна дисперсія групового комплектування (рис. 1 Б), і така ж сама дисперсія комплектування з ранжуванням (рис. 1 В), і назначається кількість деталей в партії для комплектування з ранжуванням (рис. 1 Г).

Для оцінки ефективності комплектування з ранжируванням запропоновано критерії: розмах величини зазору (натягу) для партії з n комплектів, середньоквадратичне відхилення дійсних зазорів (натягів) у партії від оптимального конструкторського, сума відхилень дійсних зазорів (натягів) від оптимального в партії.

Витратність комплектування пропонується оцінювати за допомогою залежності для визначення кількості інформації. Кількість інформації I в бітах для ранжирування дорівнює логарифму з факторіала кількості складальних комплектів

$$I = \log_2 n!. \quad (2)$$

Розроблено модель оцінки дійсних розмірів на основі ступеня наближення до оптимальної величини. При цьому, залежно від діапазону

значень розміру, деталі можливо розділити на категорії за критерієм якості, що мають різне значення придатності розмірів.

Для кількісної оцінки бажаності наближення дійсного розміру x до оптимального k_0 пропонується використовувати функцію спаду придатності розмірів $K(x)$, що нормує величину придатності розмірів на всій числовій вісі. Важливим параметром цієї функції є показник форми спаду придатності розмірів при відхиленні від оптимального розміру β . Форма функції придатності визначає, наскільки бажано одержувати розміри, близькі до оптимальної конструкторської величини k_0 .

З погляду умов експлуатації і технології виготовлення, доцільно виділити наступні характерні значення та діапазони β :

1. При $\beta \rightarrow 0$ функція спрощується до традиційного контролю допуску розміру (рис. 2 а). Значення функції спаду придатності розмірів дорівнює 1 у межах поля допуску і прагне до $-\infty$ за його межами. На границях поля допуску $[ei, es]$ спостерігається стрибок функції.

2. При $0 < \beta < 0,5$ функція характеризує використання технологічного запасу точності, при якому діапазон розмірів із придатністю $K(x) \approx 1$ звужується від припустимих значень $[ei, es]$ до бажаних $[ki, ks]$. При цьому значення розмірів за межами $[ki, ks]$, але в межах $[ei, es]$, мають $0 < K(x) < 1$ (рис. 2 б), коли вони припустимі, але небажані. За межами діапазону $[ei, es]$ функція придатності $K(x) < 0$. Це значить, що виготовлення деталей з такими значеннями розмірів штрафується.

3. Для $0,5 < \beta \leq 1$ тільки значення оптимального розміру відповідає $K(x) = 1$ (рис. 2 в). При віддаленні дійсного розміру від оптимального $K(x)$ зменшується, у значеннях границь припустимих значень $K(x) = 0$, за їхніми межами $K(x) < 0$.

4. У випадку $\beta = 1$ ліва і права половини функції спаду придатності розмірів лінійні (рис. 2 г). Це спрощує математичне завдання визначення придатності дійсного розміру і побудови функції розподілу придатності розмірів.

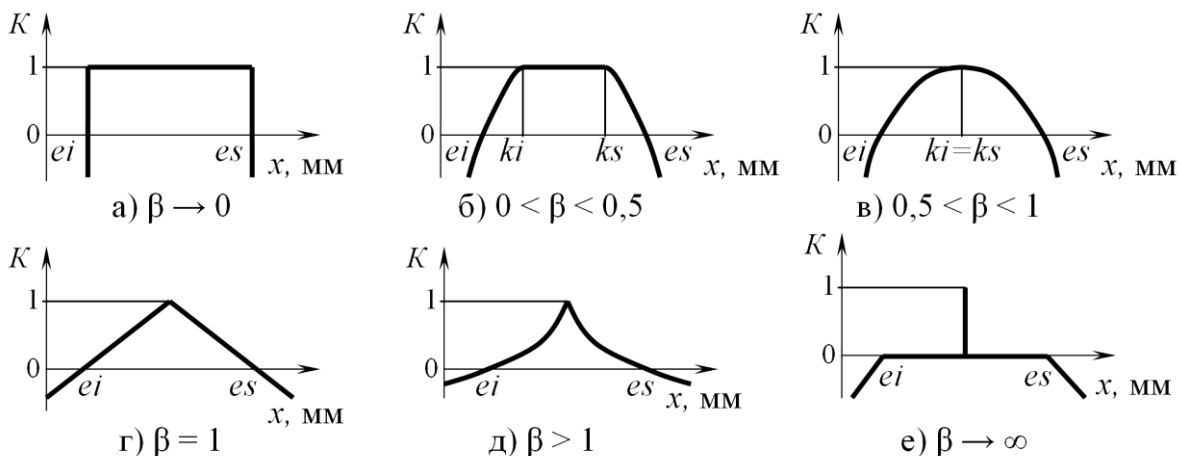


Рисунок 2 - Сімейство функцій спаду придатності розмірів

5. Для $\beta > 1$ функція спаду придатності розмірів має опуклість униз (рис. 2 д). Така її форма має обмежений інтерес для практики, оскільки важко забезпечується технологічно, ціна відхилення від оптимального розміру дуже велика. У граничному випадку, коли $\beta \rightarrow \infty$, $K(x) = 1$ у значенні оптимального розміру, $K(x) = 0$ у межах припустимих значень і $K(x) = -\infty$ за їхніми межами (рис. 2 е).

Функцію спаду придатності пропонується описувати наступним виразом

$$K(x) = \begin{cases} 1 - \left(\frac{x - ko}{ei - ko} \right)^{\frac{1}{\beta}}, & x \leq ko, \\ 1 - \left(\frac{x - ko}{es - ko} \right)^{\frac{1}{\beta}}, & x \geq ko. \end{cases} \quad (3)$$

Отримано залежність, що дозволяє при заданому значенні придатності K визначити відповідні йому значення розмірів. Виведені частинні випадки функції спаду придатності зведено в табл. 1.

Таблиця 1 – Залежності для частинних випадків функції спаду придатності

1.	Для параметрів якості, для яких найкращим є нульовий рівень	$K(x) = 1 - \left(\frac{x}{es} \right)^{\frac{1}{\beta}}$
2.	Лінійної (рис. 2 г)	$K(x) = \begin{cases} (x - ei)/(ko - ei), & x \leq ko, \\ (x - es)/(ko - es), & x \geq ko. \end{cases}$
3.	Параболи (рис. 2 в)	$K(x) = 1 - \left(\frac{2x - es - ei}{es - ei} \right)^2$

На рис. 3 проілюстровано вплив показника форми β на функцію спаду придатності розмірів $K(x)$ на прикладі $\text{Ø}90\text{F}8 \begin{pmatrix} +0,09 \\ +0,036 \end{pmatrix}$. Маємо відповідно $ei = 90,036$ мм, $es = 90,09$ мм. Рекомендований конструктивно розмір зміщений щодо середини поля допуску і дорівнює $ko = 90,055$ мм. Графіки функції спаду придатності розмірів показано для випадків $\beta_1 = 2$, $\beta_2 = 1$, $\beta_3 = 0,5$ і $\beta_4 = 0,05$.

Використання функції спаду придатності розмірів $K(x)$ дозволяє застосувати підхід розподілу деталей на категорії якості за критерієм близькості дійсних розмірів до оптимального. Як приклад на рис. 3 показано поділ розмірів деталі на дві категорії якості. До категорії I зі значенням придатності $K > 0,7$ при $\beta_2 = 1$ відносяться деталі з розмірами в діапазоні I_{β_2} . До категорії II зі значенням придатності $0 < K < 0,7$ відносяться деталі з іншими розмірами в межах допуску $[ei, es]$, діапазони II_{β_2} . При збільшенні обраного граничного значення придатності K діапазон розмірів категорії якості I звужується – відповідно збільшуючи діапазони розмірів деталей категорії II. Для практичних випадків рекомендується використовувати 2 – 3 категорії.

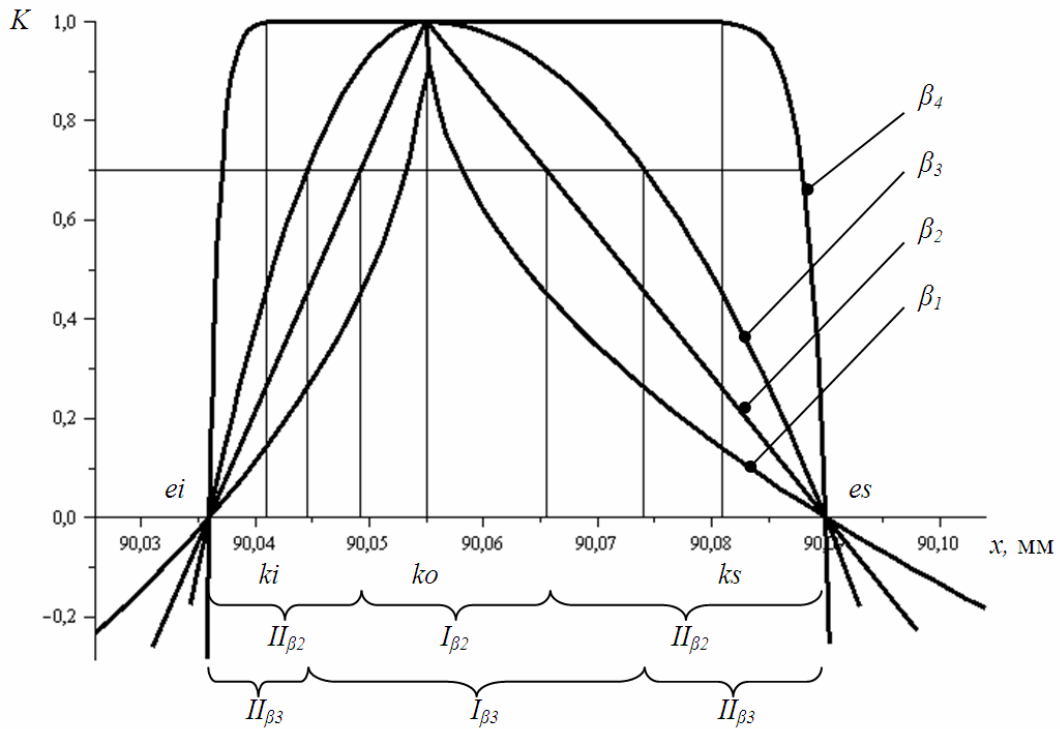


Рисунок 3 - Функція спаду придатності для різних показників форми β

Якщо спроектувати функцію щільності розподілу розмірів $f(x)$ на функцію спаду придатності розмірів $y = K(x)$, то отримаємо функцію, що характеризує щільність розподілу ймовірності розміру з певним значенням придатності. Ця функція визначимо як функцію щільності розподілу придатності розмірів $g(y)$.

Функція щільності розподілу придатності розмірів для загального випадку, коли функція щільності розподілу розмірів нормальна зі середньоарифметичним значенням розмірів a і середньоквадратичним відхиленням σ , а функція придатності (3), має вигляд

$$g(y) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \left\{ \left| \beta (ko - ei) (1 - y)^{\beta-1} \right| e^{-\frac{(ko - (ko - ei) (1 - y)^{\beta} - a)^2}{2\sigma^2}} + \right. \\ \left. + \left| \beta (ko - es) (1 - y)^{\beta-1} \right| e^{-\frac{(ko - (ko - es) (1 - y)^{\beta} - a)^2}{2\sigma^2}} \right\}, \quad (4)$$

при $(-\infty < y \leq 1)$.

Частинні випадки функції щільності розподілу придатності розмірів представлено в табл. 2.

Таблиця 2 – Частинні випадки функції щільності розподілу придатності розмірів

1.	Щільність розподілу розмірів функція спаду лінійна	нормальна, придатності	$g(y) = \frac{1}{\sigma_G \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(y-a_G)^2}{2\sigma_G^2}}$
2.	Щільність розподілу розмірів функція спаду парабола	нормальна, придатності	$g(y) = \frac{(es - ko)}{2\sigma \sqrt{2\pi(1-y)}} \left(e^{-\frac{(ko-(es-ko)\sqrt{1-y}-a)^2}{2\sigma^2}} + e^{-\frac{(ko+(es-ko)\sqrt{1-y}-a)^2}{2\sigma^2}} \right)$
3.	Щільність розподілу розмірів рівномірна в інтервалі (c, b) , функція спаду парабола	рівномірна в придатності	$g(y) = \begin{cases} \frac{es - ko}{2\sqrt{1-y}(b-c)}, & m_2 \leq y \leq m_1, \\ \frac{es - ko}{\sqrt{1-y}(b-c)}, & m_1 \leq y \leq 1, \end{cases}$
4.	Щільність розподілу розмірів рівнобедрений трикутник, функція спаду придатності парабола	рівнобедрений	$g(y) = \frac{1}{\sqrt{1-y}} - 1, \quad 0 \leq y < 1$

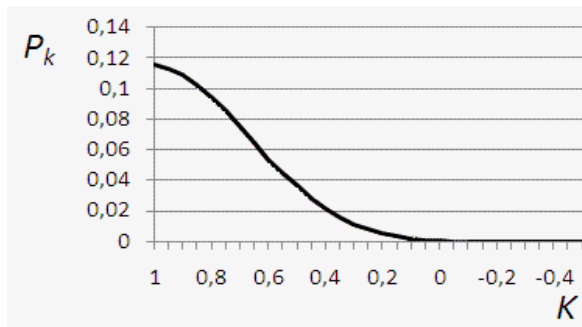
Приклади функції щільності розподілу придатності розмірів наведено на рис. 4. На графіку цієї функції деталі з розмірами, близькими до оптимального, розташовуються в області близьких до одиниці аргументів, позитивні значення аргументів свідчать про допустимість таких розмірів, а негативні – про недопустимість. Рис. 4 а, б ілюструють технологію із придатними розмірами деталей, що виготовляються, рис. 4 в, г – при наявності браку.

У роботі вдосконалено імовірнісну модель міцності на зсув циліндричних з'єднання з натягом, що зібрані з використанням термодії. Запропоновано трипараметричну модель, яка дозволяє розрахувати гарантовану нижню межу міцності за результатами малої кількості експериментальних даних.

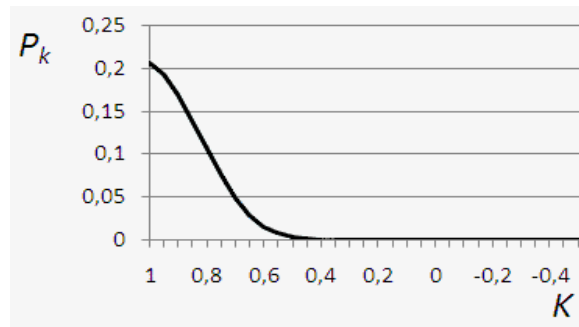
Випадкова величина p навантаження на зсув вала має функцію розподілу

$$F(p) = \begin{cases} 0, & \text{якщо } p \leq p_0, \alpha > 0, \\ \exp\left(-\left(\frac{p-p_0}{\theta}\right)^{-1/\alpha}\right), & \text{якщо } p > p_0, \end{cases} \quad (5)$$

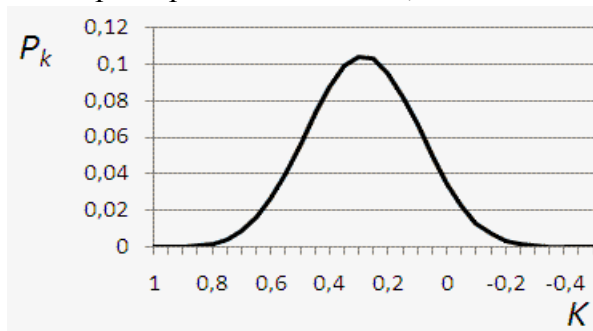
де α – параметр форми, θ – параметр масштабу, p_0 – параметр зсуву.



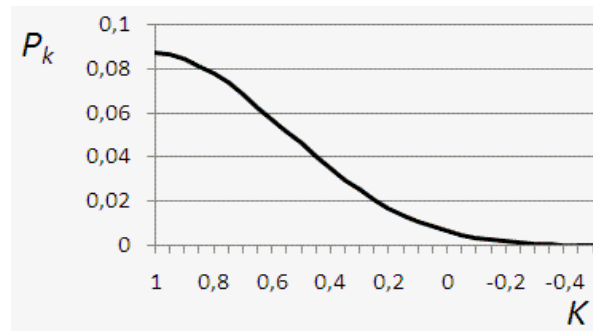
а) центр кривої нормального розподілу розмірів співпадає з ko , $6\sigma = T$



б) технологічний запас точності



в) центр кривої нормального розподілу зміщено відносно ko , $6\sigma = T$, неправильне настроювання верстата



г) центр кривої нормального розподілу розмірів співпадає з ko , низька точність виготовлення

Рисунок 4 - Функція щільності розподілу придатності розмірів як характеристика розмірної якості технології

Модель міцності з'єднання на зсув від дії випадкового навантаження P має вигляд

$$f(p) = \begin{cases} 0, & \text{якщо } p \leq p_0, \alpha > 0, \\ \frac{1}{\alpha\theta} \left(\frac{p-p_0}{\theta} \right)^{-1/\alpha-1} \exp\left(-\left(\frac{p-p_0}{\theta}\right)^{-1/\alpha}\right), & \text{якщо } p > p_0. \end{cases} \quad (6)$$

Отримані оцінки дозволяють визначити міцність з'єднання на зсув за формулою

$$L(p) = 1 - \exp\left(-\left(\frac{p-p_0}{\theta}\right)^{-1/\alpha}\right). \quad (7)$$

Модель (7) дозволяє знаходити оцінки параметрів за результатами малої кількості експериментів, що необхідно для серійного виробництва. В практичних випадках для застосування достатньо результатів п'яти з'єднань.

У **третьому розділі** досліджено показники якості технологічних процесів складання, що досягаються у результаті застосування запропонованих у другому розділі моделей; досліджено вплив похибки геометрії форми деталей на міцність високоточних з'єднання з натягом.

Порівняльні результати статистичного моделювання комплектування з періодичним ранжируванням і селективного комплектуванням при 4-х групах селекції для з'єднання із зазором $\emptyset 150 \text{ H7/f7}$ показано на рис. 5. Суцільні криві

1д – 5д відображають залежність імовірності P придатного з'єднання при комплектуванні з періодичним ранжируванням від числа складальних комплектів n і наступних вихідних даних: 1д – середньоарифметичні значення розмірів вала $a_e = 149,937$ мм і отвору $a_o = 150,02$ мм, 2д – $a_e = 149,94$ мм, $a_o = 150,017$ мм, 3д – $a_e = 149,942$ мм, $a_o = 150,015$ мм, у цих випадках середньоарифметичні відхилення розмірів вала і отвору $\sigma_e = \sigma_o = 0.006$ мм; 4д – $\sigma_e = 0.004$ мм, $\sigma_o = 0.008$ мм, 5д – $\sigma_e = 0.002$ мм, $\sigma_o = 0.01$ мм, в останніх двох випадках $a_e = 149,937$ мм, $a_o = 150,02$ мм. Штриховані криві 1с – 5с відображають імовірність селективного комплектування при тих же вихідних даних.

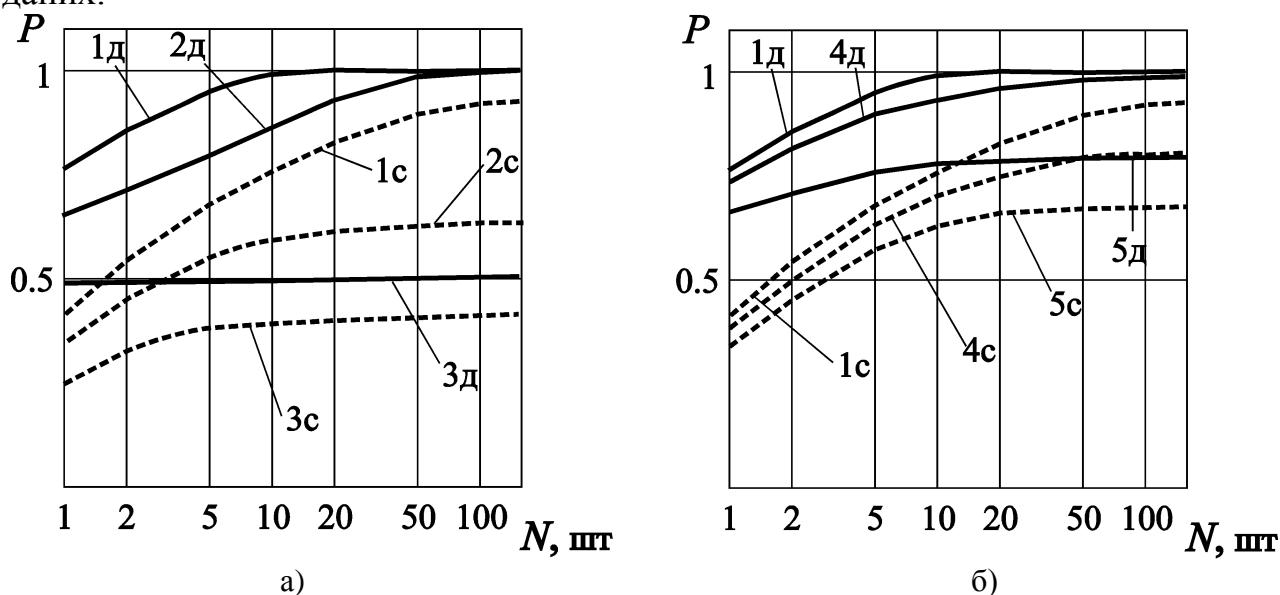


Рисунок 5 - Імовірність комплектування залежно від числа деталей у партії
а – при різних a_e , a_o ; б – при різних σ_e , σ_o

Дослідження підтвердило відомі недоліки селективного складання: необхідність великої серійності виробництва; практична недосяжність комплектування всіх деталей і, як наслідок, наявність суттєвого незавершеного виробництва. У той же час комплектування з ранжируванням для невеликих розбіжностей законів розподілу деталей дозволяє досягти суцільного складання для партій від 10, а при значних розбіжностях – від 50 комплектів.

Графічна ілюстрація на рис. 6 показує значення зазорів для випадку двохелементного з'єднання вал-отвір (посадка $\text{Ø}150\text{H}7/\text{f}7$, величина партії $n = 50$ шт) при розподілі розмірів за нормальним законом. На рис. 6 а показано випадок селективного складання, число груп селекції дорівнює 4, на рис. 6 б періодичне комплектування з ранжируванням. Похилими лініями зображено граничні значення розмірів замикаючої ланки. У випадку комплектування з ранжируванням зазори замикаючої ланки групуються біля значення, що обчислюється як різниця середньоарифметичних розмірів партій деталей отвору і вала. Розмах величин зазорів для комплектування з ранжируванням суттєво менший.

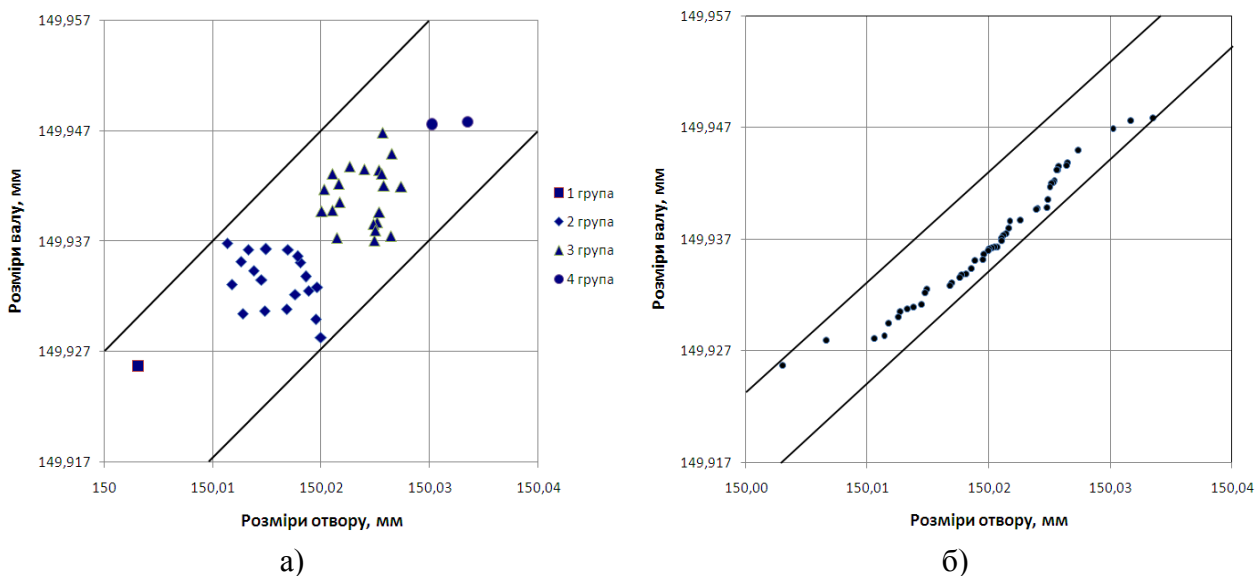


Рисунок 6 – Розмах розмірів замикаючої ланки при селективному складанні а) і періодичному комплектуванні з ранжируванням деталей б)

Для тих же вихідних даних приведено результати статичного моделювання ефективності періодичного (рис. 7 а) і безперервного (рис. 7 б) комплектування. За віссю ординат показуються відхилення від середнього зазору посадки. Для періодичного комплектування це найбільше відхилення від середнього зазору в партії, розмах відхилення дорівнює $\begin{pmatrix} +0,018 \\ -0,017 \end{pmatrix}$ мм, для безперервного комплектування розмах відхилення дорівнює $(\pm 0,005)$ мм. Для селективної складання він установлений у межах $(\pm 0,01)$ мм.

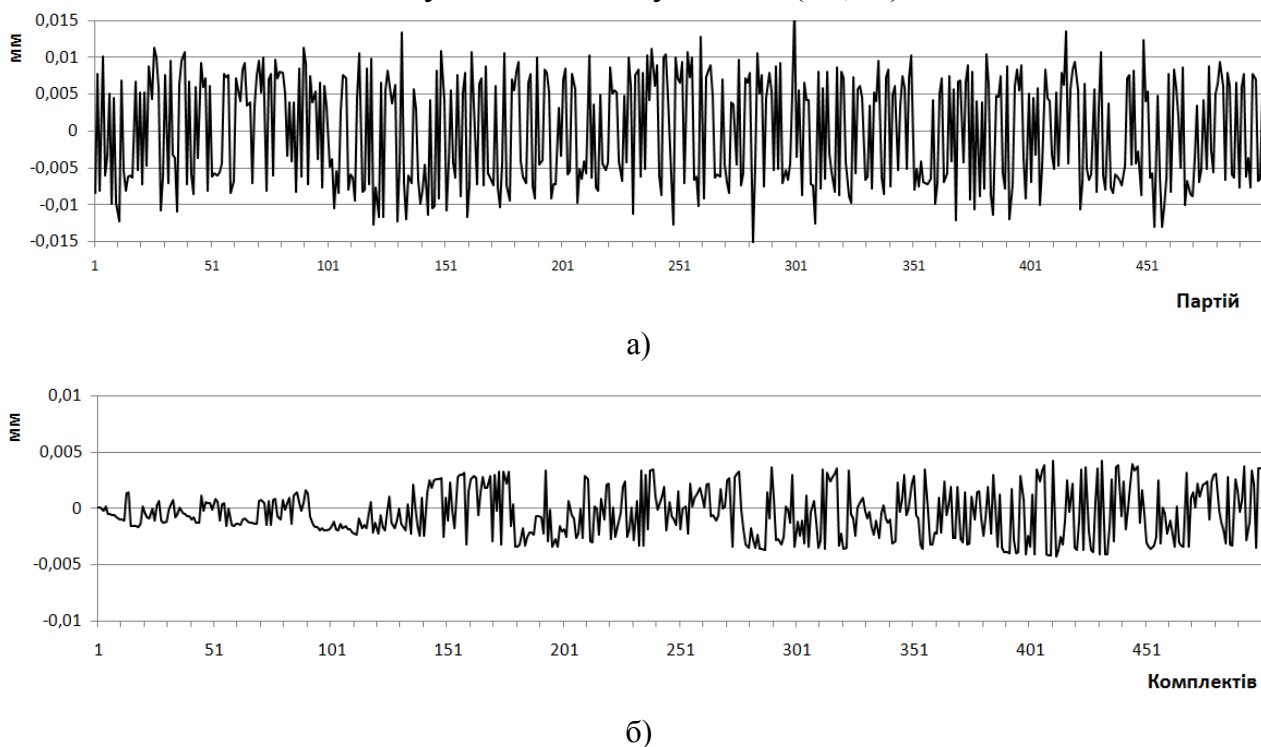


Рисунок 7 – Розкид розмірів замикаючої ланки при періодичному а) і безперервному б) комплектуванні з ранжируванням

Результати моделювання комплектування багатоеlementного з'єднання для партій різної величини показано на рис. 8. Суцільними лініями показано максимальний і мінімальний розміри замикаючої ланки при повній взаємозамінності, штриховими лініями максимальний (1) і мінімальний (2) зазори при періодичному комплектуванні, крапковими лініями максимальний (3) і мінімальний (4) зазори при безперервному комплектуванні. Шкала абсцис – квазілогарифмічна.

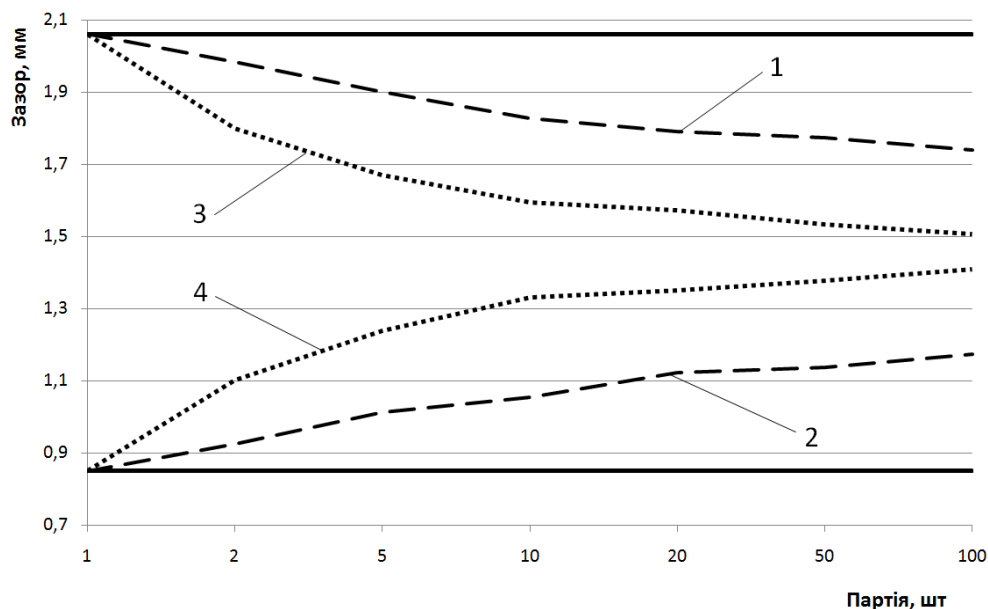
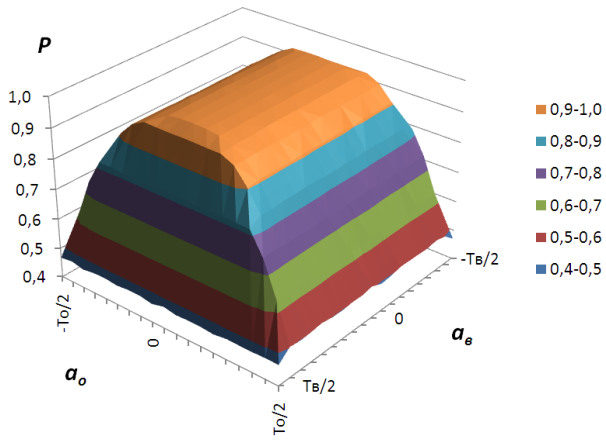


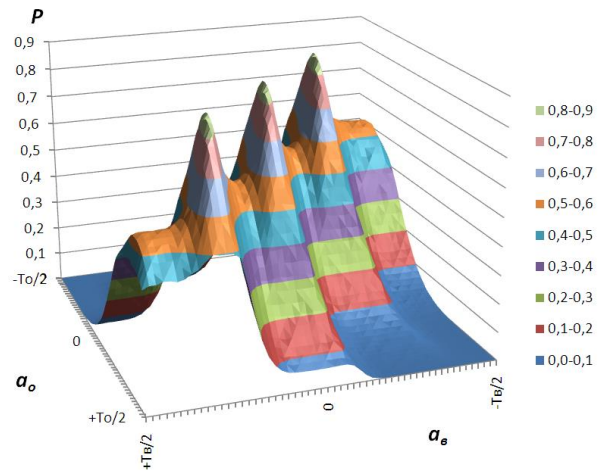
Рисунок 8 – Мінімальний і максимальний розміри замикаючої ланки залежно від величини партій / комплектів

На практиці розміри партії відповідають вибірці з генеральної сукупності і можуть варіюватися. Проведено порівняння повної взаємозамінності, комплектування з ранжируванням і селективного комплектування при зміні центрів розсіювання розмірів вала і отвору (рис. 9), і при зміні середньоквадратичного відхилення розсіювання розмірів вала і отвору (рис. 10). Отримано дані про наявність декількох максимумів імовірності комплектування при селективному складанні. Видно, що комплектування з ранжируванням набагато стійкіше до змін параметрів законів розподілу розмірів, ніж селективне комплектування, і наближається до повної взаємозамінності.

У роботі досліджено вплив точності вимірювального приладу на параметри процесу комплектування. Похибка виміру розмірів деталей найбільш впливає на відсоток ризиків споживача і виробника при селективному комплектуванні, при повній взаємозамінності її вплив трохи менше, при комплектуванні з ранжируванням її вплив відчувається найменше, а ризик виробника взагалі відсутній.



а)



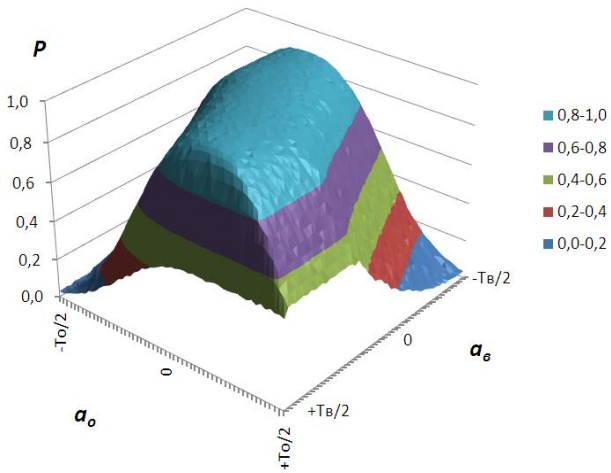
б)

Рисунок 9 – Імовірність комплектування придатного з'єднання при зміні центрів розсіювання розмірів вала і отвору й зменшеному σ_ϵ :

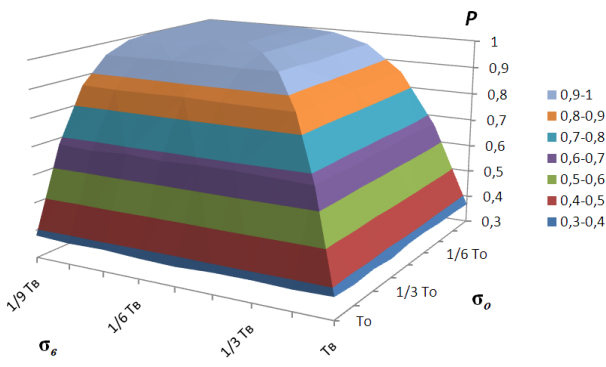
а) повна взаємозамінність,

б) селективне комплектування,

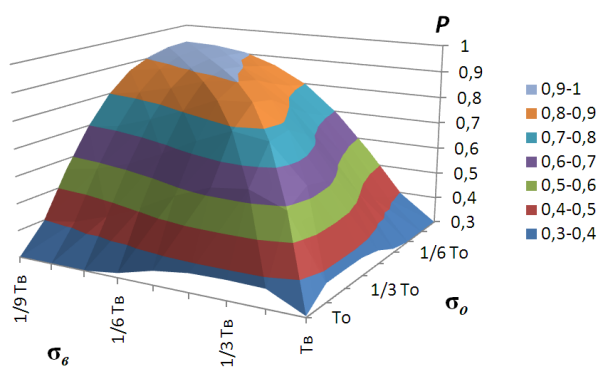
в) комплектування з ранжируванням



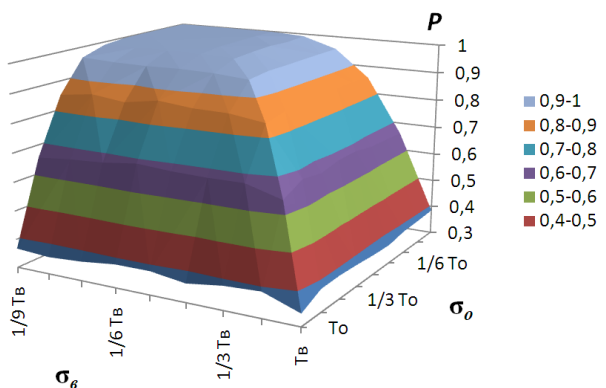
в)



а)



б)



в)

Рисунок 10 – Імовірність комплектування придатного з'єднання при зміні величин розсіювання розмірів вала і отвору:

а) повна взаємозамінність,

б) селективне комплектування,

в) комплектування з ранжируванням

Таким чином, комплектування з ранжируванням у порівнянні із селективним комплектуванням дає кращу точність, стійке до змін параметрів законів розподілу розмірів і недостатньої точності вимірювального приладу, може застосовуватися при низькій серійності виробництва. Ціною цього є необхідність запам'ятовувати посадкові розміри і організувати комплектування за спеціальним алгоритмом. Це можливо в сучасному комп'ютерно-інтегрованому виробництві за допомогою маркування деталей і зберігання інформації у базі даних.

Завдяки комплектуванню з ранжируванням вдається домогтися істотного підвищення розмірної точності. Однак подібний підхід неефективний для усунення похибок геометрії форми. Тому в роботі проведено дослідження впливу похибки геометрії форми на міцність з'єднання з натягом, зібраного з термодією.

Проведено порівняльне дослідження при нормальній і високій відносній геометричній точності, для малого і середнього діаметрів. Таким чином, досліджено вплив фактора точності і фактора габаритів з'єднання. Порівняння впливу похибки геометрії форми на міцність циліндричного з'єднання з натягом проведено на трьох з'єднаннях:

- нормальної (А) відносної геометричної точності для Ø60 мм (рис. 11, похибки геометрії форми графічно збільшені для наочності);
- високої (С) відносної геометричної точності для Ø60 мм;
- нормальної (А) відносної геометричної точності для Ø190 мм.

Втулки прийнято циліндричними (рис. 11 а), а похибка геометрії форми моделювалася на валах. З'єднання із циліндричним валом (рис. 11 б) порівнювалися із тими, що мають конусоподібність, сідлоподібність, бочкоподібність і овальність (рис. 11 в – е). Форма сідлоподібності і бочкоподібності моделювалася дугою окружності, овальність в осьовому перерізі моделювалася овалом. Матеріал досліджуваних деталей сталь 45.

Моделювання міцності циліндричного з'єднання з натягом при наявності похибки геометрії форми проведено методом кінцевих елементів.

При цьому складність полягала у виборі величини коефіцієнта тертя. Як відомо, сила тертя пропорційна коефіцієнту тертя і силі нормального тиску. На виступах похибок геометрії нормальний тиск вище, зменшуючись на впадинах. Це приводить до того, що при наявності похибки геометрії з'єднання працює не всією своєю площею, а тільки виступами. Таку нерівномірність враховано в коефіцієнті тертя, який представлено як двохкомпонентну лінійну модель

$$f = K_c A_c + K_v A_v, \quad (8)$$

де A_c – постійна складова контактного об'єму, A_v – змінна складова контактного об'єму, K_c і K_v – коефіцієнти.

Перша частина визначається величиною коефіцієнта тертя в умовах постійного нормального тиску для даної контактної пари, а друга залежить від зміни нормального тиску в кожній точці контакту при наявності похибки геометрії форми.

При розрахунку міцності вільному краю хвостовика вала задавався зсув 1 мм, а протилежний край втулки фіксувався в осьовому напрямку. При дослідженні міцності з'єднання обчислювалася сила, що викликала такий зсув.

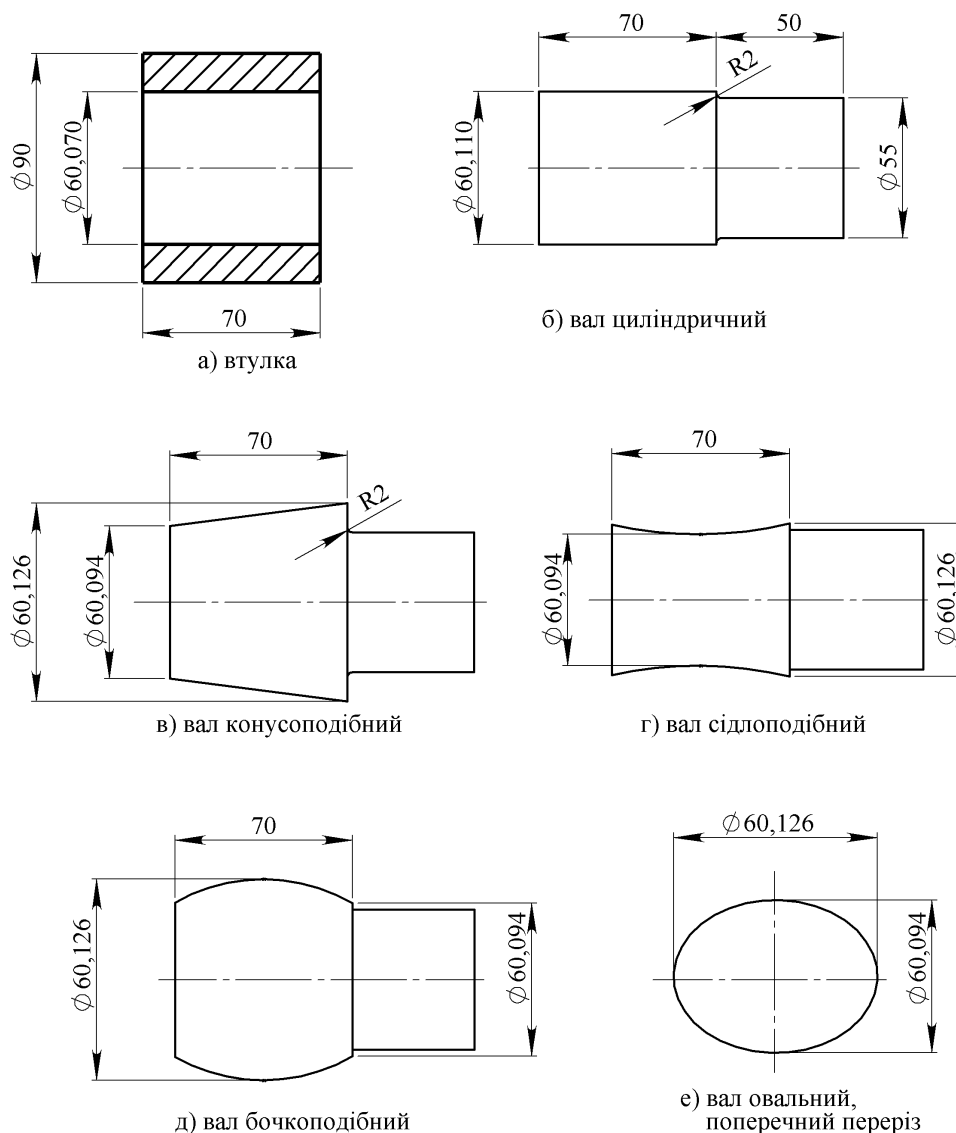


Рисунок 11 – Відхилення форми циліндричних поверхонь, які досліджувалися, $\varnothing 60$, нормальна (А) відносна геометрична точність

Напруження, обчислені в результаті моделювання міцності циліндричного з'єднання з натягом при наявності похибки геометрії форми наведено на рис. 12, відносна міцність зображена на рис. 13 у вигляді гістограми.

З аналізу отриманих результатів зроблено висновок, що міцність циліндричного з'єднання з натягом при наявності максимально припустимої похибки геометрії форми міняється істотно. Наявність конусоподібності і овальності зменшує міцність до 20%, сідлоподібність зменшує міцність з'єднання на 36%, і тільки бочкоподібність не приводить до істотного зниження. Таким істотним зниженням міцності не можна зневажати на практиці, особливо для сідлоподібності.

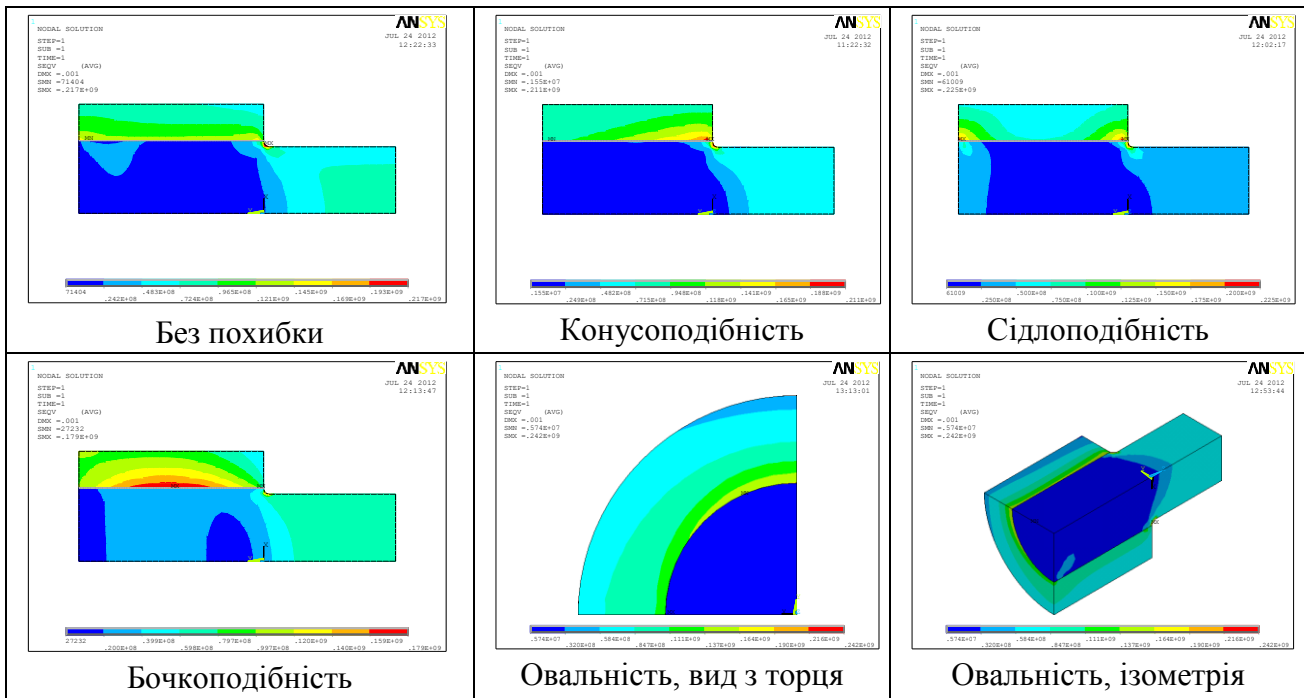


Рисунок 12 – Еквівалентні напруження, отримані в результаті моделювання, $\varnothing 60$, нормальна (А) відносна геометрична точність

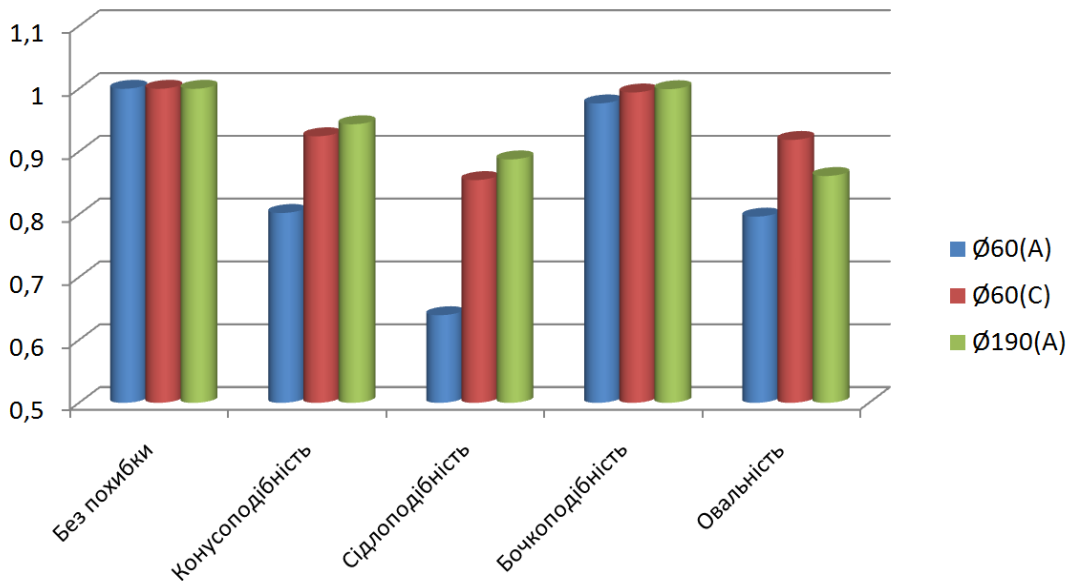


Рисунок 13 – Відносна міцність на осьовий зсув

Визначено, що якщо ввести обмеження похибки геометрії форми до високої точності, то зниження міцності стає набагато менше. У цьому випадку наявність конусоподібності і овальності зменшує міцність на 8%, сідлоподібність зменшує міцність з'єднання на 15%, бочкоподібність не приводить до істотного зниження. Для габаритних з'єднань, зниження міцності навіть для максимально припустимої похибки геометрії форми не так істотно. Результати свідчать, що максимальне зниження міцності спостерігається для овальності і становить 14%, для інших видів похибок менше 10%.

Доцільно обмежувати похибки геометрії форми при виготовленні деталей для відповідальних з'єднань із натягом. Для таких з'єднань потрібно

встановлювати високу і особливо високу геометричну точність, при якій точність форми не повинна перевищувати 25% поля допуску. Відповідно зниження міцності буде менше у два рази.

У **четвертому розділі** запропоновано методику розрахунку розмірних ланцюгів з поділом виробів на категорії якості і методику розрахунку показників міцності циліндричних з'єднань із натягом на зсув; досліджена точність складання з термодією при змінних у часі розмірних ланках.

З використанням функції (3) сформульовано методику розрахунку розмірних ланцюгів з поділом виробів на категорії якості, що ґрунтується на наступних положеннях: для всіх ланок розмірного ланцюга рівень придатності приймається однаковим, функції спаду придатності повинні мати однаковий вид, показник форми β повинен бути рівним; ланка, що замикає, отримує рівень придатності не нижче, ніж придатність складових ланок. Для загального у розмірного ланцюга рівня придатності визначаються діапазони розмірів деталей кожної категорії якості.

На основі моделі міцності циліндричного з'єднання з натягом (6) створено методику розрахунку міцності циліндричних з'єднань на зсув. Оцінку параметрів моделі (6) пропонується проводити наступним чином:

1. Проводяться випробування на зсув циліндричних з'єднань для однакових виробів, виготовлених за однаковою технологією, у кількості від 5 до n штук.

2. За результатами випробувань знаходиться середнє навантаження $\bar{p} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n p_i$, де p_i – результат навантаження, при якій відбувається зсув.

3. Знаходиться мінімальний результат навантаження на зсув $p_{(1)} = \min_{1 \leq i \leq n} (p_1, p_2, \dots, p_n)$.

4. За результатами випробувань знаходиться виправлена вибіркова дисперсія навантаження на зсув $S^2 = \frac{n}{n-1} \sum_{i=1}^n (p_i - \bar{p})^2$.

5. Знаходиться величина статистики $T^2 = \frac{S^2}{(\bar{p} - p_{(1)})^2}$.

6. Визначається оцінка $\tilde{\alpha}$ параметра α з рішення рівняння

$$\frac{-[\Gamma(1-2\alpha) + \Gamma^2(1-\alpha)]}{\left[(-1)^{n-1}(n-1) + \sum_{i=2}^n (-1)^i C_n^i i^\alpha \right]^2 \Gamma^2(1-\alpha)} = T^2.$$

7. За визначеним $\tilde{\alpha}$ знаходиться оцінка параметра θ

$$\tilde{\theta} = \sqrt{-S^2 / [\Gamma(1-2\tilde{\alpha}) + \Gamma^2(1-\tilde{\alpha})]}.$$

8. Визначається оцінка параметра p_0 за формулою $\tilde{p}_0 = \bar{p} + \tilde{\theta} \Gamma(1 - \tilde{\alpha})$, де $\tilde{\alpha}$ й $\tilde{\theta}$ – знайдені оцінки.

Для практичної реалізації запропонованої методики створена програма в середовищі Maple. На рис. 14 наведено криві міцності і інтенсивності відмов, отримані для експериментальних даних розділу 5.

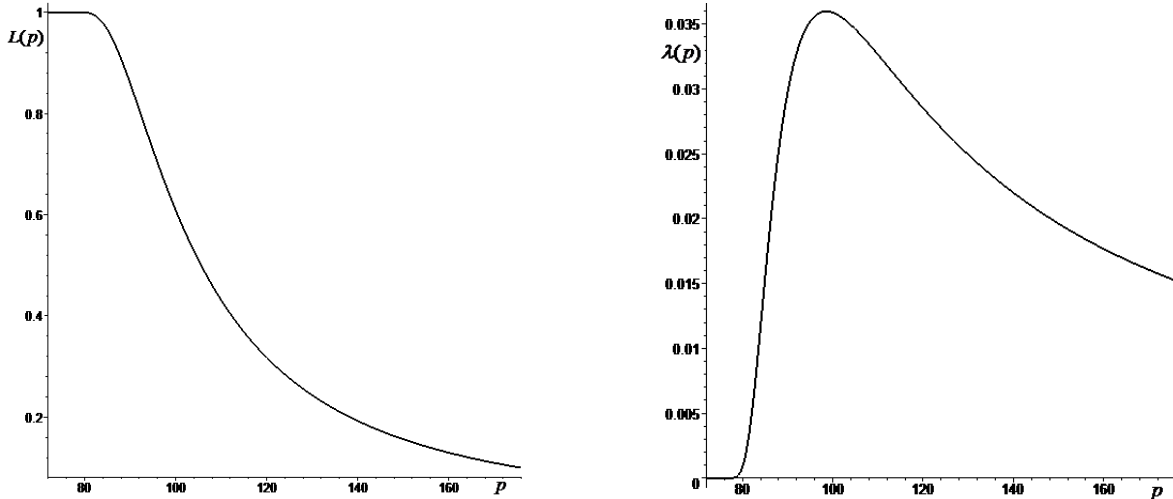


Рисунок 14 – Крива міцності і крива інтенсивності відмов з'єднання з натягом при значеннях параметрів $p_0 = 72$ кН, $\theta = 27$ кН, $\alpha = 0,6$.

Для високоточних з'єднань, крім розмірної точності і похибки геометрії форми, важливе значення має температурний режим складання. Звичайно використовуються спеціальні термоконстантні приміщення, деталі повинні мати строго задану температуру. У випадку теплового складання сама сутність технології суперечить температурній стабільності. Деталі при нагріванні розширюються і деформуються. У розмінному ланцюзі з'являються змінні в часі ланки. Їхнє урахування представляє собою складне інженерне завдання, оскільки їх величина змінюється нелінійно і залежить від багатьох факторів.

Дослідження особливостей складання з термодією проводилися на прикладі залізничної колісної пари. У процесі складання деталі перебувають у нагрітому, деформованому стані, що вимагає перерахування конструкторських розмірів у технологічні. Якщо цього не зробити, то після складання відстань між торцями ободів виявиться менше необхідної.

Завдання термоупругості колісної пари вирішувалося методом кінцевих елементів у програмі SolidWorks Simulation. Послідовно моделювалися чотири етапи теплового складання, результати попереднього етапу використовувалися як вихідні дані для наступного (рис. 15). При моделюванні нагрівання коліс за основу були взяті експериментальні дані Андрєєва Г.Я. У результаті отримано залежність зміни відстані між внутрішніми торцями ободів від часу складання (рис. 16).



Рисунок 15 – Температурне поле колісної пари в момент скріплення коліс із віссю

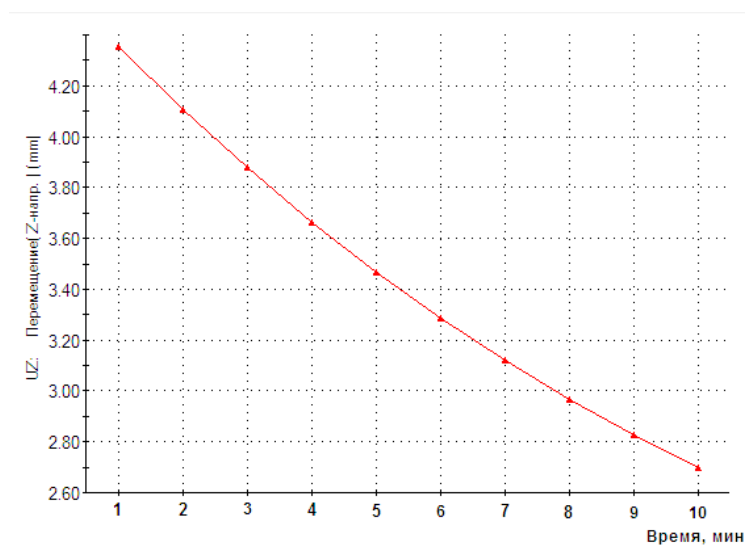


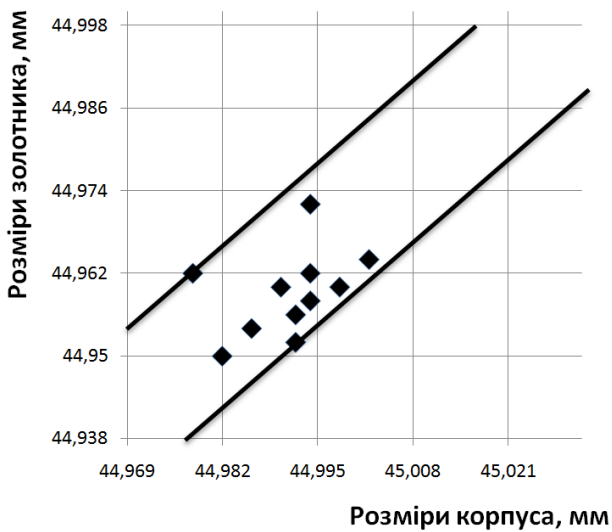
Рисунок 16 – Залежність зміни відстані між внутрішніми торцями ободів від часу

Для базування коліс уздовж осі використовуються спеціальні упори. Якщо складальний стенд сконструйований так, що упори для коліс відразу прибираються, то деформація враховується на момент базування коліс. У стенді, де використовувати підпружинені, а не прибираємі упори, деформація приймається на момент скріплення. Величину деформації слід прибавляти до конструкторського розміру.

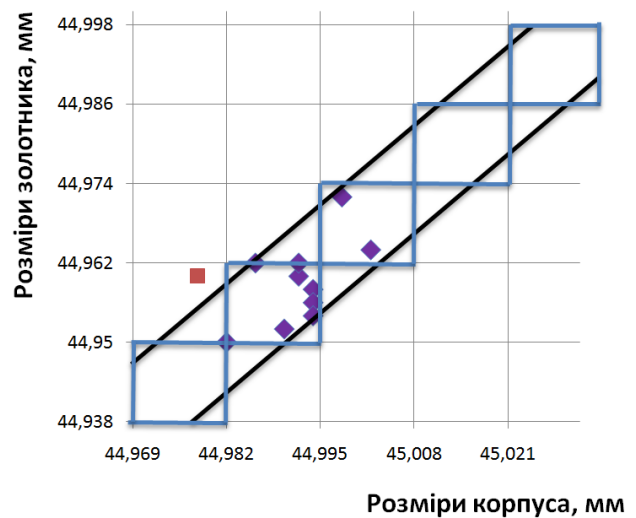
У **п'ятому розділі** представлено експериментальні дослідження в лабораторних і промислових умовах процесів комплектування і складання високоточних з'єднань при інформаційному супроводі технології.

Ефективність комплектування з ранжируванням досліджено на прикладі деталей паливної апаратури, що виробляються Харківським тракторним заводом. Корпус паливної апаратури належить до багатоелементного селективного складання, оскільки сполучається по посадці з натягом із втулкою і по посадці з зазором із золотником. У сполученні корпус-втулка деталі сортуються на дві групи селекції, у сполученні корпус-золотник – на п'ять (рис. 17). Відповідно до затвердженої на заводі документації, поверхні, що

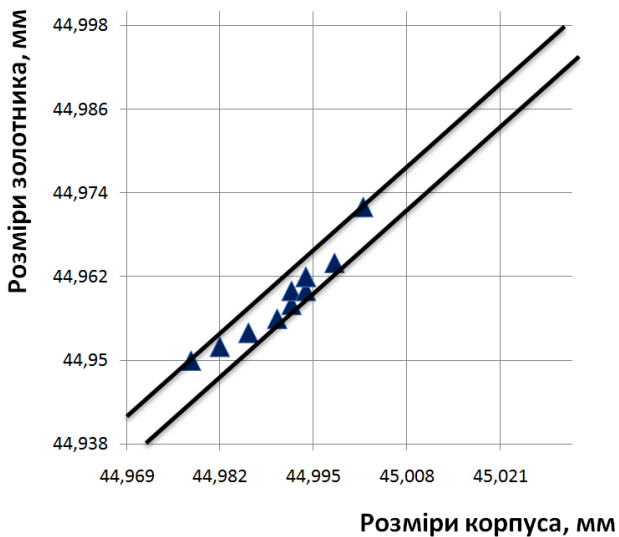
сполучаються, виготовляють за 7 – 9 квалітетами. Потім шляхом селективного комплектування повинна досягатися потрібна точність посадки.



а)



б)



в)

Рисунок 17 – Розміри комплектів корпус-золотник для партії в 11 комплектів:

- а) повна взаємозамінність,
- б) селективне комплектування,
- в) комплектування з ранжируванням



На практиці через низьку серійність виробництва селективне складання виявилося неефективним, оскільки значна кількість деталей іде в незавершене виробництво. Щоб досягти необхідної з конструктивних міркувань точності складання, на виробництві підвищили точність обробки до 5 – 7 квалітету, намагаючись домогтися в обох сполученнях розмірів тільки другої групи селекції. Досягається це більше ретельним настроюванням верстата, що виявилося можливо в дрібносерійному виробництві. Якщо розміри все-таки виходять за межі єдиної групи селекції, що нерідко трапляється для деталей корпусу, то охоплювані деталі виготовляються під замовлення складальної ділянки. Така організація виробництва нетехнологічна.

Використання комплектування з ранжируванням дозволяє для партій в 5 – 10 деталей домогтися точності комплектування, порівнянної із селективним складанням, при цьому точність виготовлення відповідає 7 – 8 квалітетам, незавершене виробництво відсутнє.

У експериментах по визначенню впливу похибки геометрії форми на міцність з'єднань із натягом при розпресовці підтверджено правильність моделювання методом кінцевих елементів. Виготовлено, обміряно, зібрано, а потім розпресовано 15 з'єднань (рис. 18), по три кожного виду: без похибки геометрії, з конусоподібністю, сідлоподібністю, бочкоподібністю і овальністю.



а)



б)

Рисунок 18 – Експериментальні з'єднання після складання а) і після розпресування б)

Отримані теоретично і експериментально результати корелюються, розбіжність у межах 10% (рис. 19). Виключенням є бочкоподібність, при якій експериментальні результати виявилися на 25% нижче теоретичних. Це можна пояснити тим, що натяги експериментальних з'єднань із бочкоподібністю випадково виявилися нижче середнього. А, як відомо, величина натягу найбільш впливає на міцність з'єднання.

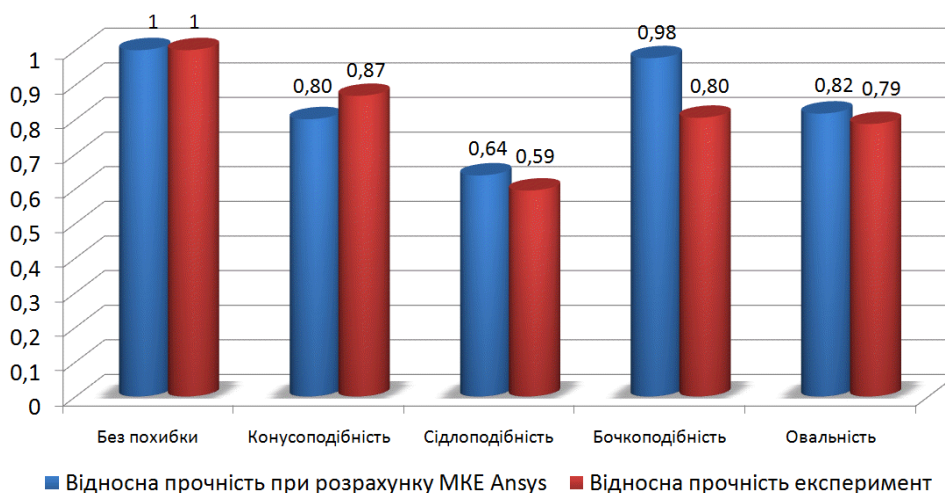


Рисунок 19 – Порівняльні результати відносної теоретичної і експериментальної міцності на осьовий зсув з'єднань із похибкою геометрії

Регресійний аналіз результатів експериментів показав, що похибки геометрії не є переважаючим чинником, що впливає на міцність з'єднання (у порівнянні, наприклад з натягом), з досліджених похибок найбільш значима сідлоподібність. Отримані теоретичні результати підтверджені експериментальними даними, тому запропонований підхід для моделювання

міцності циліндричного з'єднання з натягом можливо використовувати і для з'єднань інших розмірів і конфігурації.

У шостому розділі представлено промислове використання і розробки до впровадження процесів комплектування і складання високоточних з'єднань при інформаційному супроводі технології.

Методика розрахунку розмірних ланцюгів з гарантованим отриманням значення розміру замикаючої ланки використана при розрахунку розмірного ланцюга вузла «Рама задня» трактора Т-151К (рис. 20). Допуск замикаючої ланки A_{Δ} при імовірнісному способі розрахунку для деталей категорії якості *I* – $T_{\Delta}^I = 0,54$ мм, категорії якості *II* – $T_{\Delta}^{II} = 0,86$ мм, категорії якості *III* – $T_{\Delta}^{III} = 1,21$ мм (табл. 3). Категорія якості *III* відповідає граничним розмірам при традиційному розрахунку.

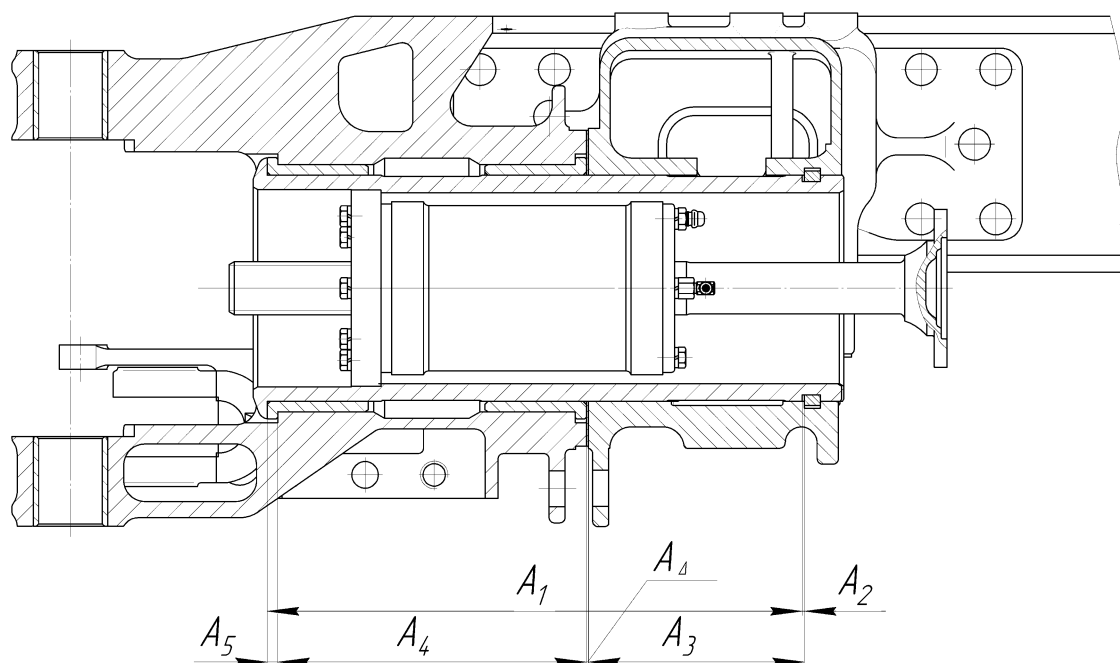


Рисунок 20 – Горизонтальний шарнір частини задньої рами трактора Т-151К

Таблиця 3 – Результати розрахунку розмірного ланцюга з гарантованим значенням придатності імовірнісним способом

№ ланки	Номинальний розмір A , мм	Граничні відхилення при $K=0,8$; <i>I</i> кат. якості, мм		Граничні відхилення при $K=0,5$; <i>II</i> кат. якості, мм		Граничні відхилення ланок, <i>III</i> кат. якості, мм	
		верхнє, es , мм	нижнє, ei , мм	верхнє, es^{II} , мм	нижнє, ei^{II} , мм	верхнє, es , мм	нижнє, ei , мм
1	505	0,32	0,12	0,38	0,06	0,44	0
2	0	0,17	-0,17	0,27	-0,27	0,38	-0,38
3	205	0,21	0,08	0,25	0,04	0,29	0
4	290	0,92	0,68	0,98	0,62	1,06	0,54
5	10	0,42	0,16	0,50	0,08	0,58	0
Δ	0	1,725	1,185	1,883	1,027	2,06	0,85

При складанні рами трактора, при величині зазору A_d понад 2 мм установлюється кільце проставочне товщиною 2 мм, для чого здійснюється часткове розбирання. Таким чином, у заводських умовах використовується складання з компенсатором, що нетехнологічно.

Складання виробу з деталей першої і другої категорії якості дозволяє підвищити точність замикаючої ланки настільки, що зазору понад 2 мм у розглянутому розмірному ланцюзі бути не повинно. Відповідно підвищується точність складання і уникаються витрати часу на установку деталі-компенсатора.

Для автоматизації процесу комплектування розроблена комп'ютерна програма в MS Excel із застосуванням Visual Basic for Applications. Розміри кожної деталі запам'ятовуються, програма видає які деталі потрібно взяти в кожен комплект для одержання з'єднань найкращої якості, і приводить чисельні результати ефективності комплектування.

Приведено послідовність порівняння економічної ефективності технологічних процесів для традиційних і запропонованих методів комплектування шляхом розрахунку конкурентоспроможності при однаковому рівні якості.

Результати досліджень впроваджені на Попаснянському вагоноремонтному заводі (Луганська область) і ТОВ «Схід ЛіЗ» (м. Харків).

ВИСНОВКИ

У дисертації вирішена науково-практична проблема управління якістю технології комплектування і складання високоточних з'єднань із деталей рядової якості в умовах серійного виробництва.

Проведені теоретичні й експериментальні дослідження дозволяють зробити наступні висновки:

1. При застосуванні методу повної взаємозамінності важко досягти високої точності складання, групове комплектування неефективне для серійного виробництва. Одержання й ефективне використання повної інформації про параметри комплектуючих деталей дає додаткові резерви росту якості виробів. Для цього необхідно використати вимірювальні засоби, що дають числовий відлік і сполучені з комп'ютером. Маркування деталей доцільно проводити шляхом оптичних або радіочастотних технологій, та використовувати адресні накопичувачі.

2. Методи комплектування на основі ранжирування застосовні для партій від 10 комплектів. Періодичне ранжирування застосовне для дрібносерійного, безперервне орієнтовано на крупносерійне виробництво. Ефективність комплектування підвищується разом з зростанням розміру партії, і для партій у діапазоні 20 – 50 комплектів періодичне комплектування дозволяє одержати точність, порівнянну із селективним складанням, а безперервне дає точність у півтора – два рази вище періодичного. Побудована номограма призначена для етапу проектування складання й дозволяє визначати кількість деталей у партії,

необхідних для виконання комплектування із заданою точністю. Запропоновані залежності для оцінки ефективності комплектування допомагають оцінити результат складання й дати рекомендації зі зміни налагоджувальних розмірів для підвищення якості складання.

3. Статистичне моделювання показало технологічні переваги запропонованого методу комплектування перед селективним комплектуванням: відсутність необхідності у великій серійності – ефективно вже при 10 комплектах, гарні результати при 20 – 50 комплектах; зменшення незавершеного виробництва; більше ефективно зменшення розкиду розмірів замикаючої ланки розмірного ланцюга; простота комп'ютерної реалізації алгоритму комплектування; стійкість до змін параметрів законів розподілу розмірів і недостатньої точності вимірювального приладу; застосовність як для дволанкових, так і для багатоланкових з'єднань.

4. Запропонована на основі інформаційного супроводу технологічного процесу складання система контролю дозволяє давати оцінку дійсним розмірам з погляду придатності. У ній придатність розміру безперервно покращується від $-\infty$ до 1 у міру наближення до оптимального конструкторського розміру. Для кількісної оцінки отриманих розмірів варто використовувати функцію спаду придатності, у практичних випадках показник її форми варто обмежувати діапазоном $0 < \beta \leq 1$. Призначаючи діапазони придатності, деталі ділять на категорії якості. Запропонована методика дозволяє проводити розрахунок розмірних ланцюгів, що гарантує необхідну точність замикаючої ланки для виробів підвищеної якості. Оцінку технологічного процесу з погляду точності розмірів запропоновано проводити за допомогою функції щільності розподілу придатності розмірів, що являє собою проекцію щільності розподілу розміру на функцію спаду придатності. Оцінку якості технології виготовлення слід проводити при значеннях показника форми спаду придатності розмірів у діапазоні $0,3 < \beta \leq 1$.

5. Удосконалено статистичну трипараметричну модель міцності на зсув з'єднання з натягом, що збирають із термодією, яка визначає гарантовану нижню межу міцності при малому обсязі випробувань. Запропоновано оцінки, що дозволяють визначати параметри моделі; методика розрахунку показників міцності циліндричних з'єднань із натягом на зсув випробувана і рекомендується для прогнозування міцності виробів середніх розмірів.

6. Проведені дослідження дозволяють зробити висновок, що міцність циліндричного з'єднання з натягом, що збирають із термодією, при наявності похибки геометрії форми знижується істотно, до третини. Найбільше несприятлива сідлоподібність, потім овальність і конусоподібність, бочкоподібність не приводить до істотного зниження. Чим більші габарити з'єднання, тим вплив похибки геометрії на міцність з'єднання з натягом менше. Рекомендується обмеження похибки геометрії форми при виготовленні деталей відповідальних з'єднань із натягом. Воно дозволяє уникнути значного зниження міцності (зниження міцності не перевищує 15%).

7. Отримано патент України на спосіб комплектування деталей для складання. Розроблена комп'ютерна програма для автоматизації процесу

комплектування доцільна в умовах серійного виробництва. Комп'ютерна програма задає, які деталі потрібно взяти в кожен комплект для одержання з'єднань найкращої якості, і приводить чисельні результати ефективності комплектування.

8. Розроблено підходи до комп'ютерного моделювання індукційного нагрівання деталей, що дозволяють урахувати нерівномірне нагрівання різних частин деталі, і одержувати температурне поле, поле напруг і деформацій при різних конструкціях індукційних нагрівачів. Нерівномірний нагрів дає змінні в часі ланки технологічного складального розмірного ланцюга, облік яких дозволяє забезпечити якість складання високоточних з'єднань.

9. Запропоновані методи комплектування й розрахунку розмірних ланцюгів випробувано на промислових виробках, показано їх переваги. Порівняння економічної ефективності технологічних процесів для традиційних і запропонованих методів комплектування проводиться шляхом розрахунку конкурентоспроможності при однаковому рівні якості.

10. Результати дисертаційної роботи впроваджено на машинобудівних підприємствах та використано при постановці спеціальних навчальних курсів для студентів УПА.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Чепурко И. П. Многопараметрическая модель сборки соединений с использованием термовоздействия / И. П. Чепурко, А. В. Куприянов // Вестник ХГПУ. – Харьков : ХГПУ, 1999. – Вып. 44. – С. 35-37.

Здобувачем побудовано залежність імовірності браку від кута перекосу деталей.

2. Куприянов А. В. Снижение энергозатрат при сборке кронштейна каретки трактора Т-150 / А. В. Куприянов, Н. А. Сульниченко // Вестник ХГПУ. – Харьков : ХГПУ, 2000. – Вып. 77. – С. 34-35.

Здобувачем запропоновано спосіб зниження енерговитрат при складанні з термодією, заснований на використанні повнішої інформації про розміри деталей за рахунок застосування селективного комплектування, проведено обчислення ефективності.

3. Куприянов А. В. Комплектование при сборке с подбором деталей / А. В. Куприянов // Сборка в машиностроении, приборостроении. – Москва : Машиностроение, – 2001. – №11. – С. 8-10.

4. Логвиновский А. Г. Влияние точности измерительного прибора на параметры процесса сборки / А. Г. Логвиновский, А. В. Куприянов // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2005. – № 4/2(16). – С. 57-60.

Здобувачем за допомогою статистичного моделювання визначено ризики виробника і споживача при різних способах організації комплектування деталей залежно від похибки вимірювального приладу.

5. Куприянов А. В. Эффективность сборки с подбором деталей / А. В. Куприянов // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». – Харків : НТУ «ХПІ», 2007. – Вип. 17. – С. 81-84.

6. Куприянов А. В. Моделирование величины деформации цельнокатаного железнодорожного колеса в процессе сборки тепловым методом / А. В. Куприянов // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2009. – № 2/1(38). – С. 20-24.

7. Куприянов А. В. Обеспечение размерной точности колесной пары, собираемой с использованием нагрева / А. В. Куприянов // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». – Харків : НТУ «ХПІ», 2009. – Вип. 30. – С. 80-87.

8. Куприянов А. В. Влияние изменений параметров законов распределения размеров деталей на комплектование при сборке двухэлементных соединений / А. В. Куприянов // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2010. – №2/5(44). – С. 54-58.

9. Куприянов А. В. Контроль оптимальности размеров / А. В. Куприянов // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». – Харків : НТУ «ХПІ», 2010. – Вип. 24. – С. 9-15.

10. Куприянов А. В. Расчет размерных цепей с гарантированным значением годности замыкающего звена / А. В. Куприянов // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». – Харків : НТУ «ХПІ». 2010. – Вип. 25. – С. 110-114.

11. Куприянов А. В. Функция плотности распределения годности размеров / А. В. Куприянов // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». – Харків : НТУ «ХПІ», 2010. – Вип. 46. – С. 103-107.

12. Куприянов А. В. Методы комплектования деталей на основе ранжирования для уменьшения допуска замыкающего звена размерной цепи / А. В. Куприянов, Н. Ю. Ламнауэр // Системи обробки інформації. Збірник наукових праць. – Харків: Харк. ун-т повітряних сил, 2010. – №8(89). – С. 58-61.
Здобувачем проведено статистичне моделювання комплектування з ранжируванням і запропоновано номограму для прогнозу ефективності комплектування.

13. Куприянов А. В. Аналитическое построение функции плотности распределения годности размеров / А. В. Куприянов, Н. Ю. Ламнауэр // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». – Харків : НТУ «ХПІ», 2010. – Вип. 40. – С. 48-55.

Здобувачем запропоновано аналітичні вирази для функції щільності розподілу придатності розмірів і побудовано приклади графіків.

14. Куприянов А. В. Функция убыли годности размеров / А. В. Куприянов, Н. Ю. Ламнауэр // Прогресивні технології і системи машинобудування : міжнар. зб. наук. пр. / Донецьк. нац. техн. ун-т. – Донецьк, 2011. – Вип. 41. – С. 176-182.

Здобувачем запропоновано і перевірено математичний апарат для аналітичної побудови функції спаду придатності розмірів, випробувано підхід по розділенню деталей на категорії якості і побудовано приклади графіків.

15. Куприянов А. В. Корреляционная связь между погрешностями геометрии формы и прочностью соединений / А. В. Куприянов, Н. Ю. Ламнауэр, Ю. М. Добровенский // Вісник Донбаської державної машинобудівної академії : темат. зб. наук. пр. / Донбас. держ. машинобуд. акад. – Краматорськ, 2011. – № 2(23). – С. 196-200.

Здобувачем побудовано кореляційну залежність міцності від геометричних параметрів з'єднання.

16. Куприянов А. В. Влияние погрешности геометрии формы на прочность соединений с натягом / А. В. Куприянов, Н. К. Резниченко // Вісник Інженерної академії України. – Київ, 2011. – Вип. 3. – С. 119-124.

Здобувачем проведено моделювання міцності з'єднання за наявності конусоподібності, сідлоподібності, бочкоподібності, овальності.

17. Резниченко Н. К. Определение и построение обобщенной модели типовой проводимости и взаимодействия магнитных полей разных частот при индукционном нагреве / Н. К. Резниченко, И. В. Коваленко, А. В. Куприянов, Н. В. Попов // Машинобудування : зб. наук. пр. / Укр. інж.-пед. акад. – Харків, 2011. – Вип.7-8. – С. 208-222.

Здобувач брав участь в створенні фізико-математичної моделі нагріву виробів до заданої глибини.

18. Куприянов А. В. Использование методов комплектования на основе ранжирования для многозвенной размерной цепи / А. В. Куприянов // Прогресивні технології і системи машинобудування : міжнар. зб. наук. пр. / Донецьк. нац. техн. ун-т. – Донецьк, 2012. – Вип. 1,2 (44). – С. 123-127.

19. Куприянов О. В. Розрахунок розмірного ланцюга рами задньої трактора Т-151К з гарантованим значенням придатності замикальної ланки / О. В. Купріянов // Машинобудування : зб. наук. пр. / Укр. інж.-пед. акад. – Харків, 2012. – Вип. 9. – С. 120-132.

20. Куприянов А. В. Экспериментальное исследование влияния погрешности геометрии формы деталей на прочность цилиндрического соединения с натягом / А. В. Куприянов // Машинобудування : зб. наук. пр. / Укр. інж.-пед. акад. – Харків, 2012. – Вип. 10. – С 85-93.

21. Куприянов А. В. Моделирование прочности соединения с натягом при наличии погрешности геометрии формы / А. В. Куприянов // Сборка в машиностроении, приборостроении. – Москва : Машиностроение, 2013. – № 5. – С. 41-44.

22. Куприянов А. В. Обобщенный подход к допусковому контролю / А. В. Куприянов // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии : сб. науч. тр. / Нац. аэрокосм. ун-т им. Н. Е. Жуковского «ХАИ». – Харьков, 2013. – Вып. 59. – С. 140-146.

23. Куприянов А. В. Построение модели прочности цилиндрического соединения с натягом / А. В. Куприянов, Н. Ю. Ламнауэр // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2015. – № 3/7(75). – С. 4-8.

Здобувачем розроблено методику розрахунку показників міцності циліндричних з'єднань з натягом на зсув і випробувано її на результатах експериментів.

24. Куприянов А. В. Прочность соединения с натягом при наличии погрешности геометрии формы / А. В. Куприянов // Вестник Херсонского национального технического университета / Херсон. нац. техн. ун-т. – Херсон, 2015. – № 3(54). – С. 145-150.

25. Куприянов А. В. Влияние масштабного фактора на прочность соединения с натягом при наличии погрешности геометрии формы / А. В. Куприянов, Н. К. Резниченко // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии : сб. науч. тр. / Нац. аэрокосм. ун-т им. Н. Е. Жуковского «ХАИ». – Харьков, 2015. – Вып.68. – С. 113-120.

Здобувачем проведено моделювання міцності циліндричного з'єднання з натягом для різних величин похибок і габаритів з'єднання.

26. Патент 57011 Україна, МПК(2010) F16C 43/00. Спосіб комплектування деталей для складання підшипників ковзання / О. В. Купріянов, Н. Ю. Ламнауер, М. К. Резніченко ; Укр. інж.-пед. акад. – № и 2010 06971 ; заявл. 07.06.2010 ; опубл. 10.02.2011, Бюл. № 3. – 5 с.

Здобувачем запропоновано використовувати спосіб комплектування з ранжируванням для організації складання підшипників ковзання.

27. Куприянов О. В. Використання ранжування при комплектуванні з'єднань / О. В. Куприянов // Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я : тези доп. XVIII Міжнар. наук.-практ. конф., 12-14 трав. 2010 р. – Харків: НТУ «ХПІ». – С. 157.

28. Куприянов А. В. Функция годности размеров / А. В. Куприянов // Качество технологий – качество жизни : сб. тез. II-ой Междунар. науч.-практ. конф., г. Судак, Украина, 15-19 сент. 2010 г. / Укр. инж.-пед. акад. – Харьков ; Судак, 2010. – С. 38-39.

29. Куприянов А. В. Моделирование температурных деформаций колесной пары, собираемой тепловым методом / А. В. Куприянов // Качество технологий – качество жизни : сб. тез. III-ой Междунар. науч.-практ. конф., г. Харьков, Украина, 14-16 апр. 2011 г. / Укр. инж.-пед. акад. – Харьков, 2011. – С. 20-21.

30. Куприянов А. В. Влияние погрешности геометрии формы на прочность соединений с натягом / А. В. Куприянов, Н. К. Резниченко // Труды Двадцать первой международной конференции «Новые технологии в машиностроении», Рыбачье, Украина, 3-8 сентября 2011 г. – Харьков ; Рыбачье: [Б. и.], 2011. – С. 14.

Здобувачем проведено моделювання методом кінцевих елементів з'єднань з натягом, зібраних з термовпливом, узагальнено результати моделювання.

31. Куприянов А. В. Моделирование индукционного нагрева зубчатого колеса / А. В. Куприянов // Качество технологий – качество жизни : материалы 5 междунар. науч.-практ. конф., 8-12 сент. 2012 г., Солнечный берег, Болгария / Укр. инж.-пед. акад. – Харьков : [Б. и.], 2012. – С. 31-32.

32. Куприянов А. В. Использование методов комплектования на основе ранжирования для многозвенной размерной цепи / А. В. Куприянов // Программа 19-й международной конференции «Машиностроение и техносфера XXI века». 17-22 сентября 2012 г. в г. Севастополе – Донецк: ДонНТУ. – С. 8.

33. Куприянов А. В. Новые методы комплектования соединений на основе ранжирования размеров / А. В. Куприянов // Качество технологий – качество жизни : материалы 6-й междунар. науч.-практ. конф., 30-31 мая 2013 г., г. Харьков, Украина / Укр. инж.-пед. акад. – Харьков : [Б. и.], 2013. – С. 12-14.

34. Куприянов А. В. Методы комплектования соединений на основе ранжирования / А. В. Куприянов // Научно-техническое творчество: проблемы и перспективы : сб. статей VIII Всерос. конф.-семинара 31 мая-1 июня 2013 г./ под общ. ред. А. П. Осипова ; Самар. гос. техн. ун-т. – Самара, 2013. – С. 31-36.

35. Куприянов А. В. Моделирование термоупругости железнодорожного колеса при индукционном нагреве / А. В. Куприянов // Молодежь и наука: модернизация и инновационное развитие страны : сб. материалов III Междунар. науч.-практ. конф., 5-8 июня 2013 г., г. Пенза. – Пенза : Изд-во ПГУ, 2013 – С. 154-156.

36. Куприянов А. В. Обобщенный подход к допусковому контролю / А. В. Куприянов // Труды 23-й междунар. конф. «Новые технологии в машиностроении», Рыбачье, Украина, 3-8 сентября 2013 г. – Харьков ; Рыбачье: [Б. и.], 2013 г. – С. 19-20.

37. Куприянов А. В. Снижение прочности соединения с натягом при наличии погрешности геометрии формы / А. В. Куприянов // Сучасні технології промислового комплексу : матеріали Всеукр. наук.-практ. конф. 15-18 вересня 2015 р., м. Херсон. – Херсон : ХНТУ, 2015. – Вип. 2. – С. 81-85.

38. Куприянов А. В. Влияние масштабного фактора на прочность соединения с натягом при наличии погрешности геометрии формы / А. В. Куприянов, Н. К. Резниченко // Труды 25-й междунар. конф. «Новые технологии в машиностроении», 3-8 сентября 2015 г., Коблево, Украина. – Харьков ; Коблево, 2015. – С. 25-26.

Здобувачем проведено моделювання міцності циліндричного з'єднання з натягом для різних величин похибок і габаритів з'єднання.

АНОТАЦІЇ

Купріянов О. В. Забезпечення якості високоточних з'єднань в умовах серійного виробництва на основі інформаційного супроводу технологічного процесу складання. На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.02.08 – технологія машинобудування. Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків, 2016.

У дисертації вирішено народногосподарську проблему сучасного машинобудування, яка полягає в забезпечення складання високоякісних з'єднань із деталей рядової якості в умовах серійного виробництва.

На основі використання і управління інформацією про дійсні розміри деталей запропоновано метод комплектування під складання, який виключає незавершене виробництво, забезпечує мінімізацію розкиду параметрів з'єднань в партії без необхідності підвищення точності виготовлення деталей, що

сполучаються. Ефективність методу всебічно вивчено і зроблено висновок про його застосовність в умовах серійного виробництва. Запропоновано підхід до поділу деталей на категорії якості на основі ступеня наближення дійсного розміру до рекомендованого конструктором, і випробувано розрахунок розмірних ланцюгів на його основі.

Удосконалено модель міцності циліндричного з'єднання з натягом, модель випробувано на експериментальних з'єднаннях. Досліджено вплив похибки геометрії форми на міцність з'єднання з натягом, зібраного з термодією, дано рекомендації з моделювання процесу складання з'єднань, що збираються з нагрівом.

Результати досліджень апробовано на серійних виробках і впроваджено на машинобудівних підприємствах України.

Ключові слова: технологічний процес складання, якість, високоточні з'єднання, серійне виробництво, комплектування.

Куприянов А. В. Обеспечения качества высокоточных соединений в условиях серийного производства на основе информационного сопровождения технологического процесса сборки. На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.02.08 – технология машиностроения. Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», Харьков, 2016.

В диссертации решена народнохозяйственная проблема современного машиностроения, заключающаяся в обеспечении сборки высококачественных соединений из деталей рядового качества в условиях серийного производства.

На основе анализа методов получения высокоточных соединений обоснованы принципы построения технологических процессов комплектования и сборки, обеспечивающие требуемую точность в серийном производстве. Предложенные подходы, базирующиеся на использовании информации о действительных размерах деталей, являются общими для изделий среднего машиностроения и исключают незавершенное производство, обеспечивают минимизацию разброса параметров соединений в партии без необходимости повышения точности изготовления сопрягаемых деталей.

Предложены новые методы комплектования на основе ранжирования, которые позволяют достичь точности, сравнимой с селективной сборкой. Статистическое моделирование показало технологические преимущества предлагаемых методов комплектования перед селективным комплектованием: отсутствие необходимости в большой серийности – эффективно уже при 10 комплектах, хорошие результаты при 20 – 50 комплектах; уменьшение незавершенного производства; более эффективное уменьшение разброса размеров замыкающего звена размерной цепи; простота компьютерной реализации алгоритма комплектования; устойчивость к изменениям параметров законов распределения размеров и недостаточной точности измерительного прибора, применимость как для двухзвенных, так и для многозвенных

соединений. Новые методы комплектования опробованы в условиях производства высокоточных изделий топливной аппаратуры.

Универсальная система контроля позволяет давать оценку действительным размерам с точки зрения достигаемой точности, для чего предложено использовать функцию убыли годности. В системе контроля годность размера непрерывно улучшается по мере приближения к оптимальному размеру. Устанавливая диапазоны годности, детали делят на категории качества. Предложенная методика позволяет проводить расчет размерных цепей, гарантирующий требуемую точность замыкающего звена для изделий повышенного качества.

Оценку технологического процесса с точки зрения точности размеров предложено проводить при помощи функции плотности распределения годности размеров, которая представляет собой проекцию плотности распределения размера на функцию убыли годности.

Усовершенствована статистическая трехпараметрическая модель прочности соединений с натягом, собираемых с термовоздействием, на сдвиг, которая определяет гарантированный нижний предел прочности при малом объеме испытаний. Предложенные оценки позволяют определять параметры модели, методика расчета показателей прочности цилиндрических соединений с натягом на сдвиг апробирована и рекомендуется для изделий средних размеров.

Проведенные исследования позволяют сделать вывод, что прочность цилиндрического соединения с натягом, собранного с термовоздействием, при наличии погрешности геометрии формы снижается существенно, до трети. Наиболее неблагоприятна седлообразность, затем овальность и конусообразность, бочкообразность не приводит к существенному снижению. Чем больше габариты соединения, тем меньше влияние погрешности геометрии на прочность соединения с натягом. Рекомендуется более жесткое нормирование погрешности геометрии формы при изготовлении деталей ответственных соединений с натягом. Оно позволяет избежать значительного снижения прочности, так что снижение прочности не превышает 15%.

Разработанные подходы к компьютерному моделированию индукционного нагрева деталей позволяют учитывать неравномерный нагрев различных участков детали и получать температурное поле, поле напряжений и деформаций при различных конструкциях индукционных нагревателей. Неравномерный нагрев дает переменные во времени звенья технологической сборочной размерной цепи, учет которых позволяет обеспечить качество сборки высокоточных соединений.

Разработанная компьютерная программа для автоматизации процесса комплектования может применяться в условиях производства. Компьютерная программа задает, какие детали нужно взять в каждый комплект для получения соединений наилучшего качества, и приводит численные результаты эффективности комплектования.

На основе предложенного комплекса лимитирующих точностных показателей сборки разработан проект стандарта организации «Соединения неразъемные с натягом, собираемые тепловым методом. Общие требования при проектировании, изготовлении и монтаже». В стандарте описаны методы, инструменты и критерии разделения изделий на три категории качества.

Результаты исследования апробированы на серийных изделиях и внедрены на машиностроительных предприятиях Украины.

Ключевые слова: технологический процесс сборки, качество, высокоточные соединения, серийное производство, комплектование.

Kupriyanov O.V. Ensuring the quality of high-precision joints in serial production on the basis of information support of the assembly process. Manuscript copyright.

Thesis for granting the Degree of Doctor of Technical sciences in speciality 05.02.08 – Manufacturing engineering. National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», Kharkiv, 2016.

The thesis has solved a manufacturing problem of modern manufacturing engineering, which is connected to ensuring the assembly of high-quality joints from parts of ordinary quality in conditions of serial production.

Considering the use and management of information on the actual size of the parts a method of kitting during the assembly has been proposed, which excludes incomplete production, provides minimization of joint parameters scatter in the party without the necessity of increasing the accuracy in the production of the combined parts. The effectiveness of the method has been thoroughly studied and a conclusion has been made about its applicability in conditions of serial production. An approach which divides the parts into quality categories according to the degree of approximation to the actual size of nominal characteristics has been proposed, and a calculation of dimensional chains based on the mentioned approach has been tested.

The efficiency model for a cylindrical joint with pressure has been improved, and the model has been tested on experimental joints. The effect of the shape geometry errors on the efficiency of the joint with pressure assembled with heating has been studied, and advice on modelling the assembly process of joints assembled with heating has been given.

The research results have been tested on serial products and implemented at machine-building enterprises of Ukraine.

Key words: technological assembly process, quality, high-precision joints, serial production, kitting.

Підписано до друку 26.05.2016 р. Формат 60x90/16
Папір Copy Paper. Друк – різнограф.
Гарнітура Times New Roman. Умовн. друк. арк. 1,4
Обл. вид. арк. 1,4. Наклад 100 прим. Зам. № 70

Надруковано у копії-центрі «МОДЕЛІСТ»
(ФО-П Миронов М.В., свідоцтво ВО4 № 022953 від 31.03.1994 р.)
м. Харків, вул. Мистецтв, 3 літер Б-1
тел. 7-170-354
www.modelist.in.ua

