

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Сумський державний університет

Кафедра «Технологія машинобудування, верстати та інструменти»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ *Віталій ІВАНОВ*

« ____ » _____ 2022 р.

**УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ
ШЕСТИРІНІ СНТ 00.00.13.ДШ ШЛЯХОМ СТРУКТУРНО-
ПАРАМЕТРИЧНОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ КОНСТРУКЦІЇ ВЕРСТАТНОГО
ПРИСТРОЮ ДЛЯ БАЗУВАННЯ ТА ЗАКРІПЛЕННЯ ЗАГОТОВКИ НА
ТОКАРНІЙ З ЧПК ОПЕРАЦІЇ**

Кваліфікаційна робота (проект) магістра

Спеціальність – 131 «Прикладна механіка»

Освітня програма – «Технології машинобудування»

Студент

Віталій ДРИГОЛЕНКО

Керівник

Артем ЄВТУХОВ

Консультант з питань охорони праці

Віра ФАЛЬКО

Нормоконтроль

Олександр ІВЧЕНКО

ЗМІСТ

Вступ.....	3
Розділ 1 Аналіз існуючого технологічного процесу виготовлення деталі	5
1.1 Аналіз службового призначення машини, вузла, деталі. Опис їх конструктивних особливостей та умов експлуатації.....	5
1.2 Аналіз технічних умов та вимог до конструкції деталі. Визначення технологічних завдань щодо її виготовлення	7
1.3 Характеристика типу та організаційної форми виробництва.....	9
1.4 Аналіз технологічності конструкції деталі	11
1.5 Аналіз існуючого технологічного процесу виготовлення деталі	14
1.6 Висновок та завдання для удосконалення технологічного процесу виготовлення деталі	21
Розділ 2 Розроблення перспективного технологічного процесу виготовлення деталі.....	23
2.1 Складання варіантів технологічних маршрутів та вибір оптимального	23
2.2 Обґрунтування способу отримання, розрахунок розмірів та формулювання технічних вимог на виготовлення первинної заготовки	28
2.3 Розрахунок припусків на оброблення поверхні обертання	33
2.4 Обґрунтування вибору схем базування та закріплення заготовки	37
2.5 Обґрунтування вибору моделей металорізальних верстатів	40
2.6 Обґрунтування вибору верстатних пристроїв, різального та вимірювального інструментів	42
2.6 Визначення режимів різання та технічне нормування операцій.....	44
2.7 Проектування засобів технологічно оснащення	46
2.7.1 Проектування верстатного пристрою	46
2.7.2 Проектування контрольно-вимірювального пристрою	53
2.10 Висновок	66
Розділ 3 Дослідження, спрямоване на удосконалення існуючого технологічного процесу виготовлення деталі	67
Висновки	75
Перелік джерел посилань	76

ВСТУП

Актуальність роботи. «Шестірня СНТ 00.00.13.ДШ» входить до складу планетарного редуктора центрифуги типу ОГШ–501У–01. Центрифуга використовується в хімічній, харчовій, вугільній та в інших галузях промисловості для поділу неоднорідних рідких сумішей на компоненти, а саме на осад та фугат. Зазначений агрегат має відповідальне призначення, тому в роботі ставиться актуальне комплексне завдання, спрямоване на підвищення ефективності існуючого технологічного процесу виготовлення шестірні шляхом оптимізації окремих технологічних операцій.

Мета роботи: підвищення ефективності технологічного процесу виготовлення шестірні СНТ 00.00.13.ДШ.

Для досягнення заданої мети були поставлені наступні **завдання:**

- 1) виконати аналіз існуючого технологічного процесу виготовлення шестірні;
- 2) розробити перспективний технологічний процес виготовлення деталі;
- 3) спроектувати контрольовано-вимірювальний пристрій для контролю радіального та торцевого биттів поверхонь деталі;
- 4) спроектувати верстатний пристрій для базування та закріплення заготовки на токарній з ЧПК операції;
- 5) дослідити спроектовану конструкцію верстатного пристрою методом статичного аналізу. Сформулювати рекомендації щодо вдосконалення конструкції верстатного пристрою та структурно-параметричної оптимізації комплексної з ЧПК операції в цілому.

Об'єкт дослідження: технологічний процес виготовлення деталі «Шестірня СНТ 00.00.13.ДШ».

Предмет дослідження: структура та параметри технологічного процесу виготовлення деталі «Шестірня СНТ 00.00.13.ДШ», конструкція верстатного пристрою для базування та закріплення заготовки на токарній з ЧПК операції.

Методи дослідження. Твердотільну модель запропонованої конструкції верстатного пристрою розроблено в САД-системі SolidWorks. Дослідження

напружено-деформованого стану запропонованої конструкції верстатного пристрою (статичний аналіз) виконано в системі інженерного аналізу ANSYS Workbench (модуль Static Structural).

Наукова новизна. В результаті теоретичних та експериментальних досліджень виконаний статичний аналіз запропонованої конструкції верстатного пристрою для базування та закріплення заготовки «Шестірня СНТ 00.00.13.ДШ» на операції токарній з ЧПК, що дозволило сформулювати рекомендації щодо вдосконалення конструкції пристрою з забезпечення його стійкої роботи під дією статичних навантажень та структурно-параметричної оптимізації операції в цілому.

Практичне значення отриманих результатів. Практичне значення отриманих результатів полягає у тому, що на основі теоретичних та експериментальних досліджень сформульовано рекомендації щодо вдосконалення конструкції верстатного пристрою для установки заготовки «шестерні» на токарній з ЧПК операції з забезпечення його стійкої роботи під дією статичних навантажень та структурно-параметричної оптимізації операції в цілому.

Особистий внесок здобувача. Результати досліджень, що були проведені отримано здобувачем самостійно.

Апробація роботи. Немає.

Публікації. Тези доповідей за результатами досліджень подано до редакції Всеукраїнської науково-технічної конференції «Сучасні технології у промисловому виробництві» (СумДУ, м. Суми) та будуть опубліковані у квітні 2023 р.

Структура й обсяг кваліфікаційної роботи магістра. Робота складається з вступу, трьох розділів, списку використаних джерел, додатків. Повний обсяг роботи магістра становить 3-х розділів, загальних висновків, переліку використаних посилань з 12 найменувань, 77 сторінок основного тексту, 23 рисунків та 12 таблиць.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ІСНУЮЧОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ

1.1 Аналіз службового призначення машини, вузла, деталі. Опис їх конструктивних особливостей та умов експлуатації

Центрифуга типу ОГШ–501У–01 – осаджувана горизонтальна безперервної дії зі шнековим вивантаженням осаду. Вона призначена для розділення суспензій високої та середньої дисперсності з концентрацією Т:Р в межах 1:4–1:10, при температурі до 80°C, а також для зневоднення осаду стічних вод.

Основні технічні характеристики центрифуги подано в таблиці 1.1 кваліфікаційної роботи бакалавра [1].

Робота агрегату. Від живильної труби, що проходить всередині шнека, через завантажувальне вікно розчин надходить в ротор центрифуги. У роторі розчин тече до зливних отворів. При цьому тверді частинки під дією відцентрової сили осідають на стінки ротора, а рідина яка звільнилася від твердих частинок зливається через зливні отвори в приймач розчину. Завдяки обертанню шнека відносно ротора, осілі частинки транспортуються до вузького кінця ротора на вивантаження. Таким чином, шнекова центрифуга забезпечує безперервне вивантаження шламу при безперервній подачі розчину на оброблення без зміни швидкості ротора.

Досліджуваний об'єкт – «Шестірня СНТ 00.00.13.ДШ» (див. креслення деталі в додатку А) входить до складу планетарного редуктора, що використовується для передачі обертального руху, перетворення крутного моменту, та зокрема, зменшення швидкості обертання ротора відносно шнека. «Шестірня СНТ 00.00.13.ДШ» виконує функції центральної («сонячної») навколо якої обкатуються шестірні-сателіти.

Функціональне призначення поверхонь шестірні (див. рисунок 1.1) подано в таблиці 1.1.

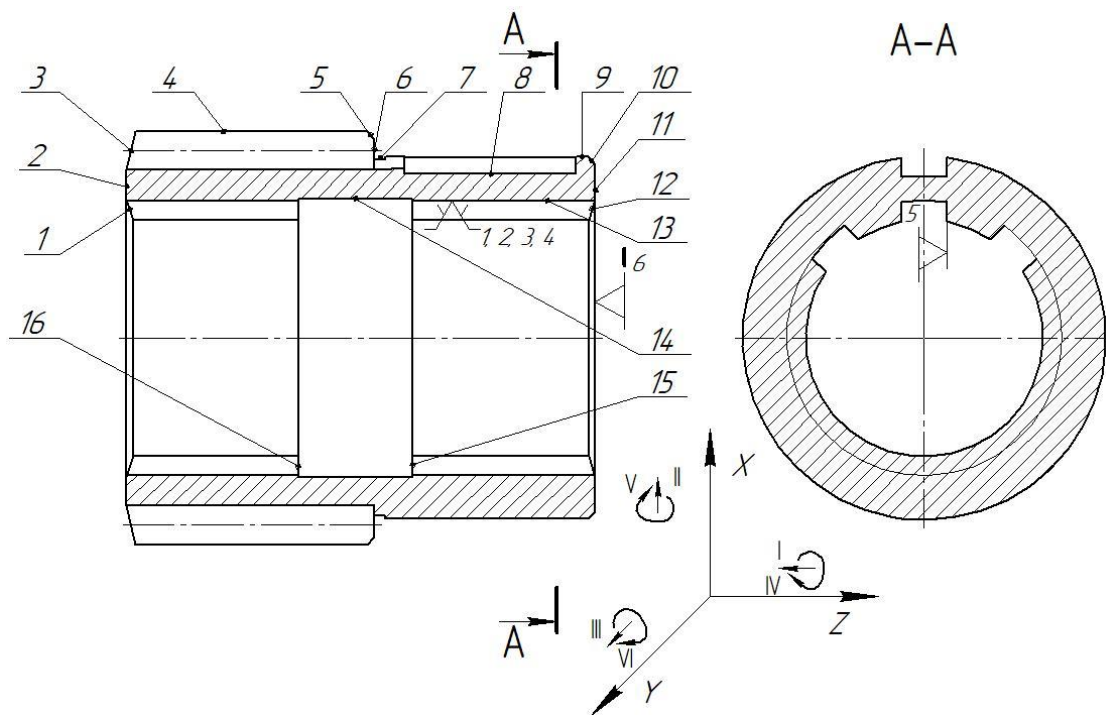


Рисунок 1.1 – Ескіз шестірни

Таблиця 1.1 – Класифікація поверхонь шестірни

Номер поверхні	Вид поверхні	Призначення поверхні
4	Виконавча поверхня	Передача обертового руху сателітам
8	Виконавча поверхня	Передача крутного моменту зубчастому колесу
11, 13	Основні конструкторські бази	Визначення положення шестірни в планетарному редукторі
4, 6, 8, 9	Допоміжні конструкторські бази	Визначення положень сателітів та зубчастого колеса відносно шестірни
1, 2, 3, 5, 7, 10, 12, 14, 15, 16	Вільні поверхні	Надають шестірни необхідних конструктивних форм та жорсткості.

Таблиця 1.2 – Таблиця відповідності

Зв'язки	Ступені вільності	Найменування бази
1, 2, 3, 4	I, II, III, V	Подвійна направляюча
5	IV	Опорна
6	VI	Опорна

Умови експлуатації виробу. Під час роботи у складі планетарного редуктора шестірня обертається з частотою 2800 об/хв та передає момент 5800 Н·м. Для забезпечення необхідних надійності та довговічності в умовах контактних навантажень шестірня повинна мати високу контактну міцність, зносостійкість та тріщиностійкість поверхонь зубчастих та шліцевих зачеплень.

1.2 Аналіз технічних умов та вимог до конструкції деталі. Визначення технологічних завдань щодо її виготовлення

Досліджувана «Шестірня СНТ 00.00.13.ДШ» (див. рисунок 1.2) відноситься до типу шестірень та за своєю конфігурацією являє собою циліндр із зовнішнім зубчастим та внутрішнім шліцевим зачепленнями. На одному з зовнішніх циліндричних ступенів розташований шпонковий паз. Максимальний діаметр зовнішнього ступеня деталі за зубчастим зачепленням становить 216,72 мм, мінімальний діаметр центрального отвору деталі за шліцевим зачепленням становить 124 мм, довжина деталі становить 246 мм. Отже, конструкція деталі характеризується співвідношенням $D_{\max}/L \approx 0,9$.

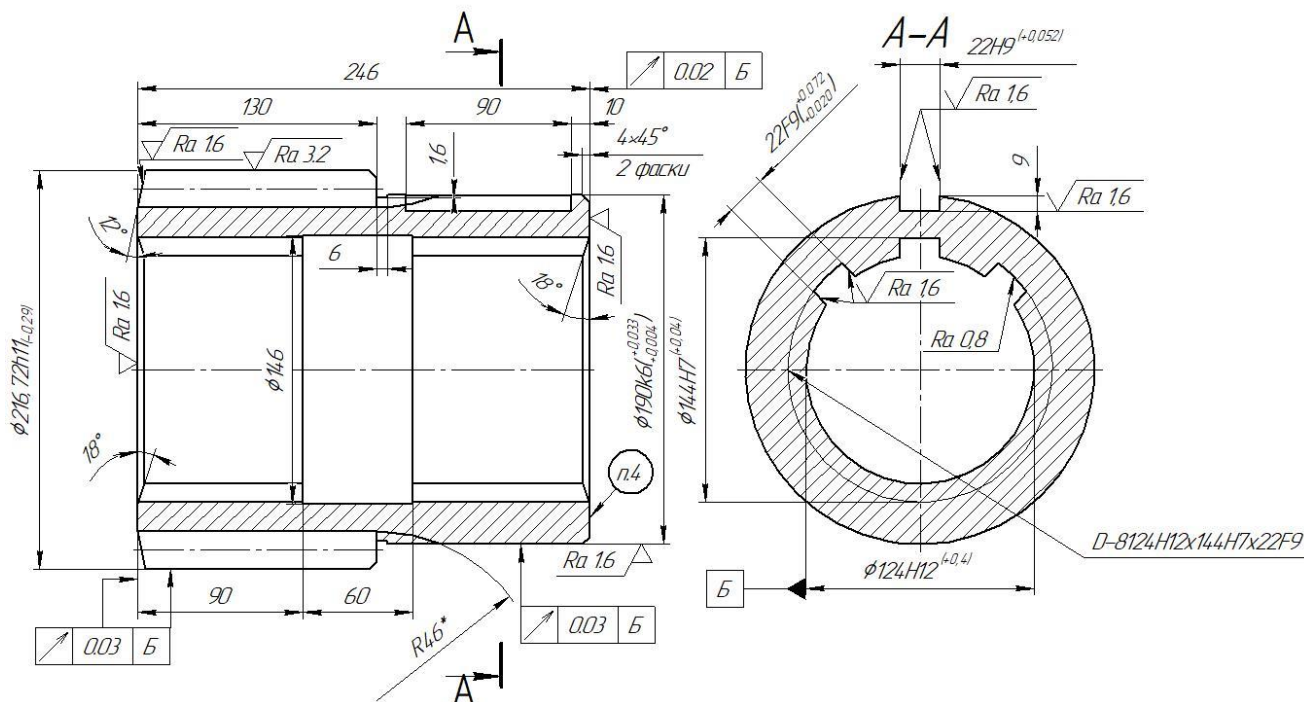


Рисунок 1.2 – Ескіз шестірні

Для виготовлення шестерні використовують сталь 40Х ДСТУ 7806:2015, середньовуглецеву конструкційну леговану сталь зі змістом 0,4 % вуглецю, 1 % хрому, інше – залізо та домішки [2]. Заготовкою для деталі є поковка вільним куванням на молотах, що дозволяє забезпечити такі механічні властивості заготовки: міцність $\sigma_b = 615$ МПа, твердість 187–229 НВ [3]. Згідно з кресленням деталі твердість її поверхонь повинна становити 326–417 НВ). Згідно з рекомендаціями [4] шестірні планетарних редукторів центрифуг піддають азотуванню, що дозволяє наситити поверхневий шар заготовки азотом та змінює стан структури, тим самим підвищуючи статичну і динамічну міцність, твердість, зносостійкість, антикорозійні властивості матеріалів. Отже можна констатувати, що матеріал деталі відповідає її функціональному призначенню та дозволяє забезпечити необхідні контактну міцність, зносостійкість та тріщиностійкість його виконавчих та базових поверхонь.

Серед усієї сукупності поверхонь деталі можна відзначити такі, що мають підвищену точність та якість.

Це, зокрема, зовнішня циліндрична поверхня діаметром $\varnothing 190k6$ ($R_a = 1,6$ мкм, допуск радіального биття – 0,03 мм), що виконує функції допоміжної конструкторської бази, отже регламентовані технічні вимоги є цілком обґрунтованими. На цій поверхні розташований шпонковий паз шириною 22Н9 (шорсткість бокових поверхонь $R_a = 1,6$ мкм), що також виконує функції допоміжної конструкторської бази. Недоліком є те, що для бокових поверхонь пазу не регламентується точність взаємного положення (зазвичай це допуски паралельності та симетричності відносно центральної осі деталі), це може призвести до нерівномірного контактного навантаження на поверхні паза, їх нерівномірне зношення та руйнування під час експлуатації виробу.

Високу точність та якість мають поверхні шліцевого зачеплення D–8×124Н12×144Н7×22F9 в центральному отворі виробу (шорсткість поверхонь за зовнішнім центруючим діаметром 144Н7 – $R_a = 0,8$ мкм, бокових поверхонь – $R_a = 1,6$ мкм). Зазвичай для бокових поверхонь шліцевого зачеплення регламентують допуск симетричності, що дозволяє забезпечити рівномірність

розподілення контактного навантаження під час експлуатації виробу. Креслення шестірні СНТ 00.00.13.ДШ не регламентує цей параметр.

Зубчасте зачеплення: ступінь точності – 7 (для норм кінематичної точності, плавності роботи, контакту зубів), вид спряження – С ГОСТ 1643-81. Кресленням регламентовані допуски радіального биття: зубчастого вінця – 0,063 мм, зовнішньої поверхні – 0,03 мм. Шорсткість бокових поверхонь зубів – 1,6 мкм Ra, зовнішньої поверхні зубчастого зачеплення – 3,2 мкм Ra, западин – 3,2 мкм Ra.

Кресленням регламентовані допуски торцевого биття для зовнішніх торців деталі – 0,02–0,03 мм. Також регламентована шорсткість зазначених торців – 1,6 мкм Ra, що на мою думку є завищеною вимогою.

В цілому можна сказати, що високі вимоги точності та якості поверхонь регламентовані обґрунтовано, оскільки призначені для поверхонь, що виконують функції виконавчих та базових (основних та допоміжних). Такі високі технічні вимоги дозволять виробу якісно виконувати свою функцію під час експлуатації, забезпечуючи необхідні надійність та довговічність.

Так, технічні вимоги, регламентовані кресленням деталі можна вважати обґрунтованими та такими, що відповідають сучасному стану розвитку машинобудування. Їх дотримання дозволить забезпечити надійну та довготривалу роботу шестірні у складі планетарного редуктора.

Оформлення креслення (позначення розмірів та їх точності, допусків взаємного розміщення поверхонь, шорсткостей поверхонь) деталі відповідає діючим нормам та правилам. Кількість видів та перетинів є достатнім для розуміння конфігурації деталі.

1.3 Характеристика типу та організаційної форми виробництва

Тип виробництва і відповідна йому форма організації робіт визначає характер технологічного процесу і його побудову. Тип виробництва характеризують коефіцієнтом закріплення операцій $K_{з.о}$, який, як відомо визначається відношенням числа всіх різних технологічних операцій, виконаних або підлягають виконанню протягом місяця, до числа робочих місць [5].

Розрахунок $K_{з.о}$ виконується з урахуванням таких даних:

- річний обсяг випуску деталей – $N_p = 1200$ шт. (згідно з завданням на проектування);
- нормативний коефіцієнт завантаження обладнання – $\eta_{з.о.} = 0,75$ [5];
- кількість механічних операцій базового технологічного процесу – 5;
- штучний час обробки заготовки за операціями – беремо відповідно до норм за існуючим технологічним процесом [див. додаток Б];
- режим роботи підприємства – у 2 зміни;
- дійсний річний фонд часу роботи обладнання – $F_d = 4015$ год. [5].

Розрахунок коефіцієнту закріплення операцій $K_{з.о}$ виконаємо на ЕОМ з використанням програмного засобу MS Excel згідно з методикою, поданою в [5].

Згідно з результатами розрахунку (див. додаток Б) маємо $K_{з.о} = 16,83$, що відповідає середньо-серійному типу виробництва. При цьому партія запуску становить $n_{п} = 114$ шт.

Середньо-серійний тип виробництва, як відомо, характеризується обмеженою номенклатурою продукції, що випускається, при цьому вироби кожного найменування випускаються партіями, що повторюються через певні відрізки часу.

Характеристику середньо-серійного типу виробництва подано в таблиці Б.2 додатку Б.

Середньо-серійному типу виробництва притаманна групова форма організації робіт – це така форма організації, яка характеризується однорідними конструктивно-технологічними ознаками виробів, єдністю засобів технологічного оснащення однієї або кількох операцій і спеціалізацією робочих місць. Їй властиві багатопредметна спеціалізація дільниць і транспортування партіями.

1.4 Аналіз технологічності конструкції деталі

Деталь вважають технологічною, якщо її виготовлення ведеться з максимальною продуктивністю та мінімальною собівартістю.

Аналіз технологічності деталі за якісними ознаками.

Матеріалом шестірні є середньовуглецева конструкційна легована сталь 40Х, що є відносно не дорогим та поширеним матеріалом з гарною оброблюваністю різанням – технологічна ознака.

Нетехнологічним є виготовлення заготовки шестірні вільним куванням на молотах, що передбачає наявність великих припусків та напусків, що у свою чергу дає велику матеріалоемність. Сам по собі спосіб кування, як метод отримання заготовки деформуванням, сприяє підвищенню показників експлуатаційної якості виробу, забезпечуючи необхідну структуру матеріалу.

Незначні габарити деталі (216,72×246 мм) визначають доступність обробного та транспортного обладнання, місць складування тощо, що є технологічним фактором, та забезпечують співвідношення $D_{\max}/L \approx 0,9$, що також є технологічним фактором. Конструкцію деталі можна вважати жорсткою, що визначає можливість оброблення її заготовки з використанням форсованих режимів різання та багатоінструментальних налагоджень.

Маса деталі 27,64 кг не є технологічним фактором, оскільки потребує під час транспортування та установлення на верстат додаткових підйомних механізмів.

Нетехнологічними конструктивними елементами деталі є:

- циліндрична поверхня $\varnothing 190k6$. Поверхня має жорсткі вимоги щодо точності розмірів, шорсткості та взаємного розміщення. Забезпечення такої точності та якості поверхні вимагає застосування малопродуктивних абразивних методів оброблення, відповідного обладнання, різального та контрольованого вимірювального інструменту;

- зубчастий вінець $\varnothing 216,72$. Оброблення зубчастих поверхонь вимагає застосування малопродуктивних методів зубофрезерування, зубошліфування,

зубохонінгування та специфічних методів контролю точності та якості поверхонь. Це у свою чергу вимагає застосування специфічного металорізального устаткування, різального та контрольно-вимірювального інструменту, задіяння робітників специфічних кваліфікацій. Для підвищення показників експлуатаційної якості зубчастий вінець зазвичай піддають хіміко-термічному обробленню, зокрема, азотуванню, що також вимагає застосування специфічного обладнання, матеріалів та кваліфікації робітників. Все це є вкрай нетехнологічними ознаками;

– шліцьовий отвір D–8×124H12×144H7×22F9. Оброблення шліцьового отвору вимагає застосування малопродуктивного методу довбання або високопродуктивного та водночас вартісного методу протягування. Потрібно пам'ятати, що протяжка є досить дорогим та специфічним інструментом. Для реалізації протягування потрібний малопоширений протяжний верстат. Для контролю шліцьового зачеплення швидше за все знадобиться спеціальний контрольний інструмент – калібр-пробка.

– шпонковий паз 90×22×9. Оброблення «глухого» шпонкового паза передбачає використання малопродуктивного методу фрезерування шпонковою фрезою.

Серед нетехнологічних ознак шестірні потрібно відмітити необхідність контролю великої кількості допусків радіального та торцевого биття, що потребує спеціального контрольно-вимірювального пристрою. Використання такого пристрою в протилежність контролю радіального та торцевого биття безпосередньо на верстаті, дозволить підвищити якість операції технічного контролю.

Деталь має досить розвинуті поверхні, що можуть виконувати роль технологічних та вимірювальних баз. Під час виготовлення деталі можуть бути реалізовані принципи постійності та суміщення технологічних баз, що є технологічною ознакою.

Аналіз технологічності деталі за кількісними ознаками.

Коефіцієнт використання матеріалу $K_{в.м}$ визначимо за формулою

$$K_{в.м} = M_{д} / M_{з} = 27,64 / 49,74 = 0,56,$$

де $M_{з} = 49,74$ кг – маса заготовки (поковка вільним куванням на молотах);

$M_{д} = 27,64$ кг – маса деталі.

Отже, за коефіцієнтом використання матеріалу деталь є технологічною з оцінкою «задовільно». Бажаним є виконання умови $K_{в.м} > 0,7$. Коефіцієнт використання матеріалу можна підвищити через використання більш точного методу отримання заготовки, зокрема, штампування, що характеризується меншими величинами припусків та напусків.

Рівень технологічності деталі за точністю поверхонь визначають за формулою

$$K_{т} = 1 - 1/T_{ср.},$$

де $T_{ср}$ – середній квалітет точності розмірів оброблюваних поверхонь деталі.

$$T_{ср} = (\sum T_i \cdot n_i) / \sum n_i,$$

де T_i – квалітет точності розмірів;

n_i – кількість розмірів з T_i квалітетом точності.

$$T_{ср} = (6 \cdot 1 + 7 \cdot 1 + 9 \cdot 2 + 11 \cdot 1 + 12 \cdot 1 + 14 \cdot 10) / 16 = 12,13.$$

Тож коефіцієнт точності розмірів становить

$$K_{т} = 1 - 1/12,13 = 0,92.$$

Отже, за коефіцієнтом точності поверхонь деталь є технологічною з оцінкою «добре»: $K_{т} > 0,9$.

Рівень технологічності деталі за шорсткістю поверхонь визначають за

формулою:

$$K_{ш} = 1 - 1/Ш_{ср.},$$

де $Ш_{ср}$ – середній рівень шорсткості оброблюваних поверхонь деталі.

$$Ш_{ср} = (\sum Ш_i \cdot n_i) / \sum n_i,$$

де $Ш_i$ – рівень шорсткості поверхні;

n_i – кількість поверхонь з $Ш_i$ рівнем шорсткості.

$$Ш_{ср} = (0,8 \cdot 1 + 1,6 \cdot 5 + 3,2 \cdot 1 + 6,3 \cdot 9) / 16 = 4,29.$$

Тож коефіцієнт шорсткості поверхонь становить

$$K_{ш} = 1 - 1 / 4,29 = 0,77.$$

Отже, за коефіцієнтом шорсткості поверхонь деталь є технологічною з оцінкою «задовільно»: $K_{ш} > 0,7$.

В результаті, не зважаючи на ряд нетехнологічних конструктивних елементів, деталь в цілому є технологічною та може бути рекомендована для виготовлення в умовах середньосерійного типу виробництва.

1.5 Аналіз існуючого технологічного процесу виготовлення деталі

Розглянемо існуючий (базовий) технологічний процес виготовлення деталі «Шестірня СНТ 00.00.13.ДШ», складений за результатами інформації в умовах діючого виробництва.

В таблиці 1.3 наведено короткий опис існуючого технологічного процесу виготовлення шестірні.

Таблиця 1.3 – Короткий опис існуючого технологічного процесу виготовлення шестірні

№ операції	Найменування операції	Короткий опис операції	Устаткування	Базування, верстатний пристрій
005	Заготівельна	Отримання поковки вільним куванням на молотах	Молот	–
010	Термічна	Нормалізаційне відпалювання для зняття внутрішніх напружень	Термопіч	–
015	Технічний контроль	Контроль стану заготовки	Відділ технічного контролю	–
020	Токарно-гвинторізна	Чорнове, півчистове та чистове оброблення заготовки обточуванням зовнішніх поверхонь, підрізанням торців, розточуванням центрального циліндричного отвору, прорізання канавки та фасок (установи А і Б)	Токарно-гвинторізний верстат моделі 16К20	В токарному самоцентрувальному трикулачковому патроні: за зовнішньою циліндричною поверхнею з упором в торець
025	Технічний контроль	Контроль точності та якості поверхонь, сформованих під час токарного оброблення	На робочому місці	–
030	Розмічування	Розмічування під подальше оброблення шпонкового пазу	Розмічальна плита	–
035	Вертикально-фрезерна	Оброблення шпонкового пазу начорно та начисто	Вертикально-фрезерний верстат моделі 6Р13	УСП: за зовнішньою циліндричною поверхнею з упором в торець (в призмі)
040	Технічний контроль	Контроль точності та якості поверхонь шпонкового пазу	На робочому місці	–
045	Розмічування	Розмічування для подальшого оброблення шліцьового отвору	Розмічувальна плита	–

Продовження таблиці 1.3

№ операції	Найменування операції	Короткий опис операції	Устаткування	Базування, верстатний пристрій
050	Довбальна	Оброблення шліцьового отвору	Довбальний півавтомат моделі 7Д430	Спеціальний пристрій з ділильним механізмом: за зовнішньою циліндричною поверхнею з упором в торець
055	Технічний контроль	Контроль точності та якості поверхонь шліцьового отвору	На робочому місці	–
060	Зубофрезерна	Попереднє нарізування зовнішнього циліндричного прямозубого зубчастого вінця під подальше хіміко-термічне оброблення	Зубофрезерний півавтомат моделі 53А80	Спеціальний поворотний пристрій з шліцьовою оправкою: за шліцьовим отвором з упором в торець
065	Технічний контроль	Контроль точності та якості зубчастого вінця	На робочому місці	–
070	Азотування	Азотування поверхонь зубчастого вінця	Термічна піч з контрольованим середовищем	–
075	Технічний контроль	Контроль якості азотованих поверхонь	Лабораторія технічного контролю	–
080	Круглошліфувальна	Чистове оброблення зовнішньої циліндричної поверхні Ø190k6	Круглошліфувальний верстат моделі М1320Е	Оправка шліцьова в жорстких центрах: за шліцьовим отвором з упором в торець
085	Технічний контроль	Контроль точності та якості зовнішньої циліндричної поверхні	На робочому місці	
090	Зубошліфувальна	Контроль точності та якості зубчастого вінця	Зубошліфувальний півавтомат моделі 5843	Оправка шліцьова в жорстких центрах: за шліцьовим отвором з упором в торець

Продовження таблиці 1.3

№ операції	Найменування операції	Короткий опис операції	Устаткування	Базування, верстатний пристрій
095	Технічний контроль	Контроль точності та якості виконавчих та конструкторських базових поверхонь деталі	Стіл ВТК	–
100	Маркувальна	Маркування шифру креслення деталі	На робочому місці	–

На діючому виробництві під час виготовлення «Шестірні СНТ 00.00.13.ДШ» використовують маршрутний опис технологічного процесу (операційні ескізи та зміст операцій поданий для токарної та фрезерної операцій, режими різання не зазначені взагалі). Тому під час складання таблиці 1.3 використовувалася вся наявна інформація безпосередньо від робітників на робочих місцях дільниці з виготовлення шестірні.

Заготовку шестірні отримують як поковку вільним куванням на молотах з подальшим термообробленням (нормалізаційне відпалювання) для зняття внутрішніх напружень, що виникають під час «оброблення матеріалу тиском». Цей метод отримання заготовки є простим, але малопродуктивним та відповідає одиничному та дрібносерійному типам виробництва. Як було зазначено в п. 1.4 при цьому коефіцієнт використання матеріалу $K_{в.м}$ становить 0,55, що є досить низьким значенням. Такий коефіцієнт використання матеріалу пояснюється наявністю великих припусків та напусків, що характерно для вільного кування на молотах. Для середньо-серійного виробництва цей метод отримання заготовки не є раціональним. Остаточний висновок про раціональність методу отримання заготовки можна зробити тільки після техніко-економічного обґрунтування альтернативних варіантів.

Порівнюючи базовий технологічний процес з типовим [4] можна зазначити, що токарна операція спроектована з дотриманням принципу концентрації операцій. Операція передбачає декілька переустановів заготовки. При цьому в межах однієї операції реалізуються чорнове, півчистове та чистове оброблення поверхонь заготовки. Так, найточніша зовнішня циліндрична поверхня $\varnothing 190k6$

має 3-х кратне оброблення обточуванням з подальшим обробленням круглим шліфуванням. Враховуючи, що на токарну операцію поступає заготовка у стані поковки з відносно великими припусками і напусками, а в якості верстатного устаткування використовується універсальний токарно-гвинторізний верстат моделі 16K20, на наш погляд раціональним було б розділити токарну операцію хоча б на дві. Тоді на першій з двох операцій можна реалізувати попереднє оброблення заготовки, а на другій – півчистове та чистове. Таке рішення дозволить хоч трохи підвищити продуктивність виготовлення деталі за рахунок скорочення допоміжного часу, що витрачається на переустановлення заготовки, зміну різального інструменту тощо. Якщо замінити спосіб отримання заготовки на штампування та застосувати в якості металорізального устаткування токарний верстат з ЧПК з системою автоматичної зміни різального інструменту, то оброблення заготовки точінням в межах однієї токарної операції можна розглядати як раціональний крок. Як відомо, поковка, отримувана штампуванням має більш високу точність та менші припуски і напуски, а більшість допоміжних переходів на верстаті з ЧПК реалізуються в автоматичному режимі з високою швидкістю.

Забезпечення точності поверхонь шпонкового паза та шліцьового зачеплення реалізується завдяки попередньому розмічуванню заготовки. Тут перш за все потрібно звернути увагу на низьку продуктивність операції розмічування та необхідність застосування при цьому робітників високої кваліфікації.

Оброблення шпонкового паза на універсальному фрезерному верстаті моделі 6P13 також вимагає застосування робітників високої кваліфікації у зв'язку зі складним алгоритмом керування робочими органами верстата згідно з розмічуванням та багатопрохідним циклом фрезерування.

Оброблення шліців в центральному отворі заготовки реалізується на операції довбальній з використанням універсального довбального півавтомата моделі 7Д430. Забезпечити точність та якість поверхонь шліців на такому верстаті дуже складно, оскільки жорсткість технологічної системи на базі довбальних

верстатів в цілому є недостатньо високою. Також потрібно пам'ятати, що метод довбання сам по собі є малопродуктивним. Рациональною альтернативою для оброблення шліців в умовах середньосерійного типу виробництва може бути протягування.

На окрему увагу заслуговує частина технологічного процесу, пов'язана з обробленням зовнішнього циліндричного зубчастого вінця. Згідно з базовою технологією оброблення зубчастого вінця реалізується на зубофрезерній та зубошліфувальній операціях. Для підвищення показників експлуатаційної якості поверхонь вінця (контактної міцності та зносостійкості) також застосовують азотування. Тут слід відзначити малопродуктивність зубошліфування, як і будь-якого іншого методу абразивного оброблення. Окрім того, довготривале шліфування характеризується високою теплонапруженістю. Зубошліфування рекомендують застосовувати в парі з зубохонінгуванням, що характеризується низькою теплонапруженістю. В такому разі зубошліфуванням виправляють макрогеометричні похибки, що ймовірно виникають під час азотування, а зубохонінгуванням – мікрогеометричні похибки. Також потрібно зауважити, що якість поверхонь, отримувана зубофрезеруванням під подальше азотування може бути недостатньою. Для підвищення сталості показників якості поверхонь під подальше азотування рекомендують застосовувати нетривале зубошліфування.

Однією з останніх механічних операцій є круглошліфувальна, на якій реалізується остаточне оброблення зовнішньої циліндричної поверхні в розмір $\varnothing 190\text{к}6$.

Так, аналіз базового технологічного процесу виготовлення деталі показав дотримання загальноприйнятих принципів поетапності, постійності технологічних баз та суміщення баз (конструкторських, технологічних та вимірювальних) під час його реалізації. Послідовна реалізація чорнових, півчистових, чистових та фінішних етапів оброблення заготовки сприяє забезпеченню технічних вимог точності та якості оброблюваних поверхонь. Цьому також сприяє використання постійних технологічних баз. Згідно з базовим технологічним процесом зазвичай це зовнішня циліндрична поверхня заготовки з

упором в торець або шліцьовий отвір з упором в торець. В першому випадку для установаження заготовки використовують самоцентрувальний токарний патрон, а в другому випадку – шліцьову оправку, що встановлюється в жорстких центрах.

На всіх операціях існуючого технологічного процесу використовується універсальне обладнання та технологічне оснащення, воно як мінімум є морально застарілим. Тут бажаним є підвищення рівня механізації та автоматизації виробництва за рахунок використання верстатів з ЧПК, обробних центрів з ЧПК, верстатних пристроїв з механізованими приводами тощо. Це у свою чергу дозволить збільшити продуктивність оброблення поверхонь, стабілізує їх точність та якість та приведе до зменшення собівартості механічного оброблення заготовки в цілому.

Під час оброблення поверхонь заготовки використовують універсальний різальний інструмент з твердосплавною різальною частиною: різці токарні прохідні, підрізні, розточувальні. Для оброблення шліців на довбальній операції використовують довбач зі швидкорізальною ріжучою частиною. Для оброблення шпонкового пазу на вертикально-фрезерній операції використовують швидкорізальну шпонкову фрезу. Для оброблення зубчастого вінця на зубофрезерній операції використовують швидкорізальну черв'ячну фрезу. Тут потрібно зазначити, що для оброблення заготовки із сталі 40Х більш доцільним є використання твердосплавного різального інструменту.

Для контролю та вимірювання параметрів точності та якості поверхонь деталі в базовому технологічному процесі використовують універсальний шкальний інструмент (штангенциркулі, мікрометри) та граничні калібри (калібр-скоба для контролю точності зовнішньої циліндричної поверхні $\varnothing 190\text{к6}$, калібр-пробка для контролю точності шліцьового отвору). Для контролю шорсткості поверхонь використовують зразки шорсткості та профілометр.

1.6 Висновок та завдання для удосконалення технологічного процесу виготовлення деталі

За результатами проведеного аналізу існуючого технологічного процесу виготовлення шестірні сформульовано такі висновки та пропозиції:

1) Маршрутний технологічний процес виготовлення шестірні в цілому є раціональним, під час його реалізації виконується принцип поетапності, спостерігається дотримання принципів суміщення та постійності технологічних баз. Все це сприяє стабілізації параметри точності та якості оброблюваних поверхонь деталі.

2) В умовах існуючого технологічного процесу заготовка отримується вільним куванням на молотах, що не відповідає умовам середньо-серійного виробництва. Тут доцільним було б отримання заготовки-поковки штампуванням на КГШП. Про раціональність вибору методу отримання заготовки можна говорити тільки після техніко-економічного обґрунтування.

3) Рівень використання засобів автоматизації та механізації є вкрай низьким. Під час розроблення перспективного технологічного процесу виготовлення деталі слід розглянути можливість широкого використання сучасних верстатів з ЧПК та верстатних пристроїв з механізованими приводами закріплення заготовки, що дозволить нівелювати суб'єктивний фактор та у свою чергу підвищити продуктивність виробництва, полегшити умови праці робітників, стабілізує параметри точності та якості оброблюваних поверхонь.

4) Для оброблення шліцьового отвору потрібно замість довбання використовувати протягування. Це дозволить підвищити продуктивність виробництва та стабілізує параметри точності та якості оброблюваних поверхонь.

5) Для підвищення ефективності азотування перед хіміко-термічним обробленням зубчастого вінця рекомендують підготувати його поверхні зубошліфуванням.

6) Для підвищення якості поверхонь зубчастого вінця на рівні мікрогеометрії потрібно розглянути можливість використання зубохонінгування як фінішного методу оброблення.

7) Для підвищення продуктивності виробництва в перспективному технологічному процесі виготовлення деталі слід уникати операцій розмічування. Для цього потрібно розглянути широке впровадження верстатів з ЧПК та верстатних пристроїв зі спеціально підготовленими базовими поверхнями.

8) Під час проектування перспективного технологічного процесу слід розглянути можливість використання спеціальних контрольно-вимірювальних пристроїв, зокрема, для вимірювання торцевого та радіального биттів.

РОЗДІЛ 2

РОЗРОБЛЕННЯ ПЕРСПЕКТИВНОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ

2.1 Складання варіантів технологічних маршрутів та вибір оптимального

З урахуванням аналізу існуючого технологічного процесу виготовлення деталі, поданих в п. 1.5 та 1.6 зауважень та пропозицій пропоную розглянути перспективний технологічний процес виготовлення шестірні (див. таблицю 2.1), спрямований зокрема на підвищення продуктивності виробництва та забезпечення точності та якості поверхонь деталі.

Таблиця 2.1 – Короткий опис перспективного технологічного процесу виготовлення шестірні

№ операції	Найменування операції	Короткий опис операції	Устаткування	Базування, верстатний пристрій
005	Оброблення тиском	Отримання поковки штампування на КГШП	КГШП	–
010	Термічна	Нормалізаційне відпалювання для зняття внутрішніх напружень	Термопіч	–
015	Технічний контроль	Контроль точності та якості поверхонь заготовки	Відділ технічного контролю	–
020	Токарна з ЧПК	Чорнове (установи А і Б), півчистове та чистове (установи В і Г) оброблення заготовки обточуванням зовнішніх поверхонь, підрізанням торців, розточуванням центрального циліндричного отвору, прорізанню канавки та фасок	Токарний верстат з ЧПК моделі GILDEMEISTER CTX 600	В токарному самоцентрувальному трикулачковому патроні з пневматичним приводом: за зовнішньою циліндричною поверхнею з упором в торець
025	Технічний контроль	Контроль точності та якості поверхонь, сформованих під час токарного оброблення	На робочому місці	–

Продовження таблиці 2.1

№ операції	Найменування операції	Короткий опис операції	Устаткування	Базування, верстатний пристрій
030	Вертикально-фрезерна з ЧПК	Оброблення шпонкового пазу начорно та начисто	Вертикально-фрезерний верстат з ЧПК Наас моделі Наас DT-1	УСП: за зовнішньою циліндричною поверхнею з упором в торець (в призмі)
035	Технічний контроль	Контроль точності та якості поверхонь шпонкового пазу	На робочому місці	–
040	Горизонтально-протяжна з ЧПК	Оброблення шліцьового отвору	Горизонтально-протяжний верстат з ЧПК моделі Sitek BMH 1600E	Спеціальний пристрій за зовнішньою циліндричною поверхнею з упором в торець
045	Технічний контроль	Контроль точності та якості поверхонь шліцьового отвору	На робочому місці	–
050	Зубофрезерна з ЧПК	Попереднє нарізування зовнішнього циліндричного прямокутного зубчастого вінця під подальше хіміко-термічне оброблення	Зубофрезерний верстат з ЧПК моделі RICHARDON 300	Спеціальний поворотний пристрій з шліцьовою оправкою: за шліцьовим отвором з упором в торець
055	Зубошліфувальна з ЧПК	Підготовка зубчастого вінця до азотування	Зубошліфувальний верстат з ЧПК моделі KAPP KH 1 L	Оправка шліцьова в жорстких центрах: за шліцьовим отвором з упором в торець
060	Технічний контроль	Контроль точності та якості зубчастого вінця	На робочому місці	–
065	Азотування	Азотування поверхонь зубчастого вінця	Термічна піч з контрольованим середовищем	–
070	Технічний контроль	Контроль якості азотованих поверхонь	Лабораторія технічного контролю	–

Продовження таблиці 2.1

№ операції	Найменування операції	Короткий опис операції	Устаткування	Базування, верстатний пристрій
075	Круглошліфувальна з ЧПК	Чистове оброблення зовнішньої циліндричної поверхні Ø190k6	Круглошліфувальний верстат з ЧПК моделі JHU-2706CNC	Оправка шліцьова в жорстких центрах: за шліцьовим отвором з упором в торець
080	Технічний контроль	Контроль точності та якості зовнішньої циліндричної поверхні	На робочому місці	–
085	Зубошліфувальна з ЧПК	Контроль точності та якості зубчастого вінця	Зубошліфувальний верстат з ЧПК моделі KAPP KH 1 L	Оправка шліцьова в жорстких центрах: за шліцьовим отвором з упором в торець
090	Зубохонінгувальна з ЧПК	Хонінгування зубчастого вінця для покращення стану поверхні на рівні мікрогеометрії	Зубохонінгувальний верстат з ЧПК моделі HURTH ZN 250	Оправка шліцьова в жорстких центрах: за шліцьовим отвором з упором в торець
095	Технічний контроль	Контроль точності та якості виконавчих та конструкторських базових поверхонь деталі	Стіл ВТК	–
100	Маркувальна	Маркування шифру креслення деталі	На робочому місці	–

Проектування раціонального маршруту технологічного процесу механічного оброблення заготовки базується на аналізі службового призначення деталі, технічних вимог щодо точності та якості її поверхонь, технологічності її конструкції з урахуванням типу та форми організації виробництва.

Згідно з техніко-економічним обґрунтуванням вибраний спосіб отримання первинної заготовки: поковка штампуванням на КГШП. Поковка отримувана штампуванням, як відомо характеризується більш високою точністю та меншими допусками і напусками: раціональним для подальшого оброблення різанням стає використання верстатів з ЧПК.

Пропонований маршрут оброблення заготовки відповідає принципу поетапності: спочатку виконується чорнове оброблення поверхонь заготовки, потім півчистове, чистове та фінішне (оздоблювальне). Точність та якість оброблення поверхонь заготовки відповідають економічно досяжним нормам, що в результаті дозволяє забезпечити виконання технічних вимог, регламентованих кресленням деталі.

Дотримання принципу поетапності наочно показує маршрут оброблення зовнішньої циліндричної поверхні $\varnothing 190k6$. Так, на токарній операції з ЧПК в декілька установів реалізується в 4 етапи: послідовне чорнове, півчистове та чистове обточування поверхні, а на круглошліфувальній операції відбувається фінішне оброблення.

При оброблення зубчастого вінця також наочно реалізується принцип поетапного оброблення: на зубофрезерній операції відбувається попереднє оброблення на чорновому-півчистовому рівні, на першій операції зубошліфування реалізується чистовий етап оброблення, на другій операції зубошліфування реалізується чистовий етап для виправлення похибок, спричинених азотуванням, а під час зубохонінгування реалізується фінішний етап.

Токарне оброблення заготовки відбувається на операції токарній з ЧПК, що характеризується високою концентрацією установів та переходів, що в цілому є прийнятним в умовах середньо-серійного виробництва. В перспективному технологічному процесі як верстатне обладнання пропонується використання верстата з ЧПК моделі GILDEMEISTER CTX 600, що дозволяє підвищити продуктивність оброблення за рахунок автоматизації основних переходів та окремих допоміжних переходів. Для підвищення ефективності використання такого верстата бажано додатково використовувати верстатний пристрій (токарний патрон) з механізованим приводом (пневматичним або гідравлічним), що потребує проведення додаткових проєктних робіт та досліджень.

Оброблення шліцьового отвору пропонується виконувати на горизонтально-протяжній операції замість довбальної. Це дозволить підвищити продуктивність

оброблення шліцьових поверхонь, стабілізувати їх точність та якість. Окрім цього це дозволить вилучити з технологічного процесу попереднє розмічування.

Оброблення шпонкового паза виконується на фрезерній з ЧПК операції на верстаті моделі Haas DT-1, що також дозволяє підвищити продуктивність оброблення за рахунок автоматизації основних переходів та вилучення попереднього розмічування.

Порівняно з базовим технологічним процесом в перспективному запропоновані зубошліфувальна 055 та зубохонінгувальна 090 операції (див. таблицю 2.1). Зубошліфування на операції 055 передують азотуванню і призначене для підготовки поверхні для підвищення ефективності азотованого поверхневого шару. При цьому підвищуються точність та якість поверхонь зубців шестірні. Зубошліфування (операція 085), що виконується після азотування виправляє макроеометричні похибки, що виникають під час азотування, а зубохонінгування (операція 090) виправляє мікроеометричні похибки.

Таким чином, в перспективному технологічному процесі відсутні операції розмічування, але збільшена кількість операцій фінішного етапу.

Аналіз запропонованого технологічного процесу показав, що він складається з таких етапів: E_1 – заготовчий (поковка), E_2 – термічний перший (відпалювання), E_3 – чорновий (точіння/розточування/підрізання торців), E_4 – півчистовий (точіння/розточування/підрізання торців/прорізання канавок та фасок/зубофрезерування), E_5 – чистовий (точіння/розточування/фрезерування паза/протягування шліців), E_6 – термічний другий (азотування зубчастого вінця), E_7 – чистовий другий (шліфування зовнішньої циліндричної поверхні/зубошліфування), E_8 – оздоблювальний (зубохонінгування).

Під час реалізації запропонованого технологічного процесу виконується принципи постійності та суміщення технологічних баз. Завдяки наявності розвинених поверхні простої геометричної форми (циліндричні, плоскі) на різних технологічних операціях використовуються однакові комплекти базових поверхонь: зовнішня циліндрична - плоский торець, циліндричний отвір – плоский

торець. Все це зокрема сприяє стабілізації точності оброблення поверхонь заготовки.

Всі операції пропонуваного технологічного процесу виконуються на верстатах з ЧПК, що сприяє підвищенню продуктивності оброблення поверхонь заготовки та стабілізації їх точності та якості. Це також позитивно впливає на умови праці робочих.

2.2 Обґрунтування способу отримання, розрахунок розмірів та формулювання технічних вимог на виготовлення первинної заготовки

У заводському технологічному процесі заготовку «шестірні» отримують у вигляді поковки вільним куванням на молотах. Перед безпосереднім виготовленням заготовку піддають термічному обробленню (нормалізаційному відпалюванню) для зняття внутрішніх напружень. Трудомісткість одержання такої заготовки є невеликою, але водночас спостерігається низьке значення коефіцієнту використання матеріалу: $K_{в.м} = 0,55$, що є неприйнятним для умов середньосерійного типу виробництва. Також викликає питання збільшені припуски і напуски, що вимагають додаткового оброблення поверхонь на верстатах, що у свою чергу викликає додаткові технічні, організаційні складнощі, матеріальні та фінансові витрати.

Переваги:

- застосування універсальних обладнання та оснащення, що є відносно недорогими та є раціональним при одиничному та дрібносерійному виробництві;
- можливість виготовлення поковки масою декілька сотень тон;
- підвищення пластичності та ударної в'язкості матеріалу заготовки.

Недоліки:

- низька продуктивність, що не є раціональним методом отримання заготовки для середньо-серійного виробництва;
- великі напуски, припуски та допустимі відхилення розмірів поковки, що призводить до збільшення об'єму механічної обробки та витратою на матеріал.

Як альтернативний спосіб одержання заготовки можна розглянути її отримання у вигляді поковки штампуванням на КГШП. Пропонований варіант більш підходить до середньо-серійного типу виробництва, ніж поковка на молотах, адже продуктивність штампування є значно вищою. Поковка, отримувана штампуванням має менші припуски, напуски практично відсутні.

Переваги:

- висока точність, менші припуски та напуски приблизно на 30%, а штампувальні ухили в 1,5 – 2 рази менше, ніж при куванні на молотах;
- більш висока продуктивність, якщо застосувати засоби механізації та автоматизації вище в 2 – 2,5 рази, ніж кування на молотах;
- більш висока надійність в експлуатації, ніж кування на молотах;
- собівартість поковки на КГШП нижче, ніж поковки на молотах.

Недоліки:

- менша універсальність, але при середньо-серійному типу виробництві цей фактор виключається, оскільки при даному типі виробництва маємо більший асортимент та обмежену номенклатуру, що є прямою протилежністю поковки на молотах;
- дороговартісні обладнання та оснащення, але при середньо-серійному типі виробництва термін окупності незначний.

Подальший вибір методу отримання заготовки робимо за допомогою економічного обґрунтування згідно з методикою [6].

Отже, порівняємо собівартості отримання поковок на молотах та на КГШП. Собівартість заготовок, отримуваних методом поковки на молотах визначимо за формулою [6]:

$$S_{\text{заг.}} = \left(\frac{C_i}{1000} \cdot Q \cdot K_T \cdot K_C \cdot K_B \cdot K_M \cdot K_{\Pi} \right) - (Q - q) \cdot \frac{S_{\text{вдх}}}{1000} \quad (2.1)$$

де C_i – базова вартість однієї тони заготовок, грн;

K_T – коефіцієнт, що залежить від класу точності заготовки;

K_C – коефіцієнт, що залежить від групи складності заготовки;

K_B – коефіцієнт, що залежить від маси заготовки;

K_M – коефіцієнт, що залежить від марки матеріалу;

K_{II} – коефіцієнт, що залежить від об'єму виробництва;

Q – маса заготовки;

q – маса деталі;

$S_{вдх}$ – вартість однієї тони відходів, грн.

Для заготовки, що отримують у вигляді поковки на молотах маємо: $C_i = 45000$ грн/т, $K_T = 1,0$; $K_C = 0,89$; $K_B = 0,61$; $K_M = 1,62$; $K_{II} = 1,0$; $Q = 49,74$ кг.

Вартість поковки, що отримують на молотах дорівнює:

$$S_k = \left(\frac{45000}{1000} \cdot 49,74 \cdot 1,0 \cdot 0,89 \cdot 0,61 \cdot 1,62 \cdot 1,0 \right) - (49,74 - 27,64) \cdot \frac{1500}{1000} = \\ = 1935,43 \text{ грн}$$

Тепер визначимо собівартість заготовки у вигляді круглої гарячекатаної поковки одержаної на КГШП за методикою [4]:

Для заготовки, що отримують штампуванням маємо: $C_i = 62000$ грн/т, $K_T = 1,0$; $K_C = 0,87$; $K_B = 0,73$; $K_M = 1,13$; $K_{II} = 1,0$; $Q = 35,6$ кг.

Вартість поковки, що отримують штампуванням на КГШП дорівнює:

$$S_{ш.} = \left(\frac{62000}{1000} \cdot 35,6 \cdot 1,0 \cdot 0,87 \cdot 0,73 \cdot 1,13 \cdot 1,0 \right) - (35,6 - 27,64) \cdot \frac{1500}{1000} = \\ = 1572,09 \text{ грн.}$$

В результаті маємо, що собівартість заготовки у вигляді поковки на КГШП менша та коефіцієнт використання матеріалу більший, ніж поковка вільним куванням на молотах. Тому, як спосіб отримання заготовки беремо поковку на КГШП.

Визначаємо параметри поковки згідно з ГОСТ 7505-89:

1. Клас точності: Т4 призначають в залежності від обладнання, на якому здійснюють основний технологічний процес штампування.

2. Група Сталі: М2(до 0,35% і легуючих елементів до 2% включно) вміст вуглецю в Сталь 40Х 0,4% і легуючих елемент 1%.

3. Ступінь складності С2.

4. Конфігурація поверхні рознімання штампа – плоска: по поздовжній осі деталі і по площині найбільшого діаметра шестерні (так як штампування заготовки проводиться на КГШП).

5. Вихідний індекс – 13.

6. Припуски на механічну обробку див табл. 2.2 згідно методики [6].
Додаткові припуски, які враховують зміщення по поверхні роз'єму штампа – 0,9 мм за [7]. Зігнутість і відхилення від площинності і прямолінійності – 0,6 мм за [7].

Таблиця 2.2 – Зведена таблиця для визначення розмірів заготовки, в міліметрах

Розмір деталі	Чистота поверхні Ra, мкм	Основний припуск	Додатковий припуск	Загальний припуск	Розрахунковий розмір заготовки	Прийнятий розмір заготовки	Фактичний припуск
Ø216.72	3.2	2.3	1.5	3.7	Ø224.12	Ø224	3.5
Ø190	1.6	2.3	1.5	3.7	Ø198.8	Ø198,8	3.5
Ø124	6.3	2.0	1.5	3.4	Ø117.2	Ø117	3.5
l ₁ =246	1.6	2.3	1.5	3.7	l ₁ =253.4	l ₁ =253	3.5
l ₂ =130	1.6	2.0	1.5	3.4	l ₂ =136.8	l ₂ =137	3.5

На рисунку 2.1 приведемо ескіз заготовки.

За попередніми розрахунками маса поковки штампованої на КГШП становить $m_3 = 35,6$ кг. Отже коефіцієнт використання матеріалу буде дорівнювати $K_{в.м} = 27,64 / 35,6 = 0,78$, що є значно більшим, ніж при виготовленні поковки на молотах.

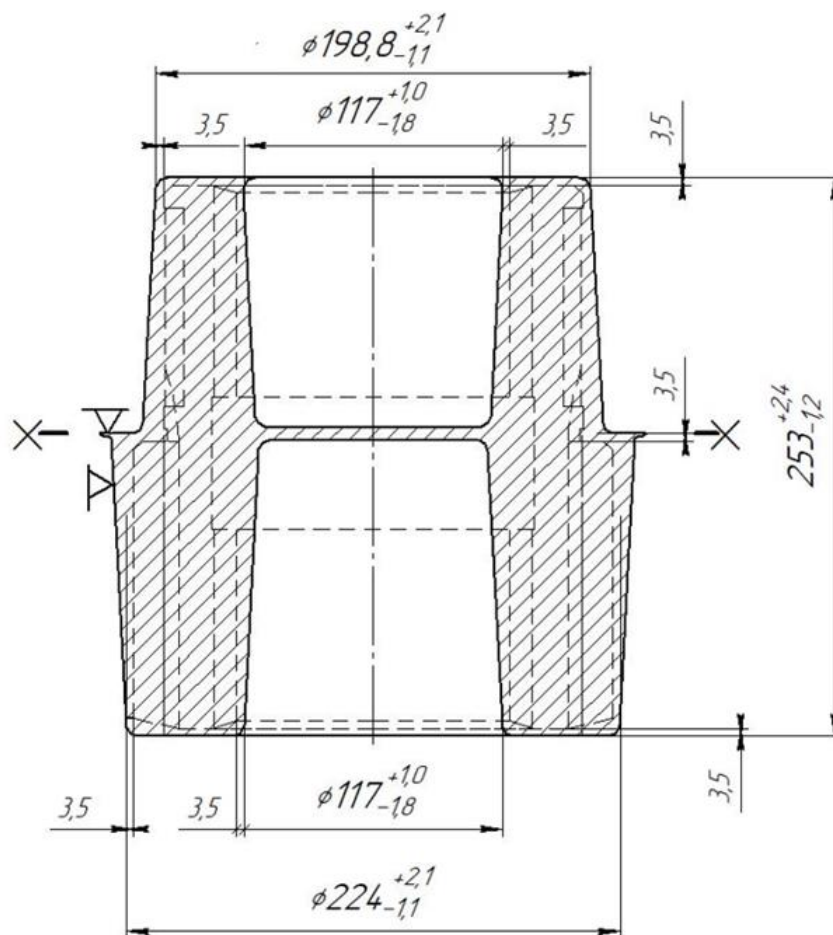


Рисунок 2.1 – Ескіз поковки на КГШП деталі “Шестірня”

Таким чином сформулюємо технічні вимоги до заготовки (поковки на КГШП):

1. Поковка штампована на КГШП, ГОСТ 7505-89, НВ 187-229.
2. Клас точності Т4, група сталі М2, ступінь складності С2, вихідний індекс 13.
3. Допускається висота задирки 3 ... 5 мм.
4. Зміщення по площині рознімання штампа 0,6 мм.
5. Штампувальні ухили – 3-5 °.
6. Незазначені радіуси R5.

2.3 Розрахунок припусків на оброблення поверхні обертання

Здійснено розрахунок припусків та допусків на оброблення зовнішньої циліндричної поверхні деталі $\varnothing 190k6$ розрахунково-аналітичним методом проф. В. М. Кована з використанням прикладної програми Pripusk на ЕОМ.

Згідно з послідовністю операцій запропонованого технологічного процесу механічного оброблення даної поверхні див. таблицю 2.3, останню будемо обробляти в чотири етапи: чорнове, півчистове та чистове точіння, а також чистове шліфування.

Таблиця 2.3 – Маршрут оброблення поверхні $\varnothing 190k6$

Найменування операції (переходу)	Квалітет точності ІТ	Параметр шорсткості Ra, мкм	Відхилення розміру
Заготівельна	T4	25	+2,1 -1,1
Чорнове точіння	h12	12,5	0 -0,46
Пів-чистове точіння	h10	6,3	0 -0,185
Чистове точіння	h8	2,5	0 -0,072
Чистове шліфування	k6	1,6	+0,033 +0,004

Усі необхідні дані для розрахунку на ЕОМ зводимо в таблицю у додатку В. Відомо, що в основі аналітичного методу проф. В. М. Кована знаходиться розрахунок величини мінімального припуску $Z_{\min i}$ на i -й перехід (етап оброблення поверхні).

Оброблення поверхонь заготовки чорновим, півчистовим і чистовим точінням ведеться на токарному з ЧПК верстаті (заготовка встановлюється в трикулачковому самоцентрувальному токарному патроні за зовнішньою циліндричною поверхнею з упором в торець). Фінішна стадія ведеться на круглошліфувальному верстаті (заготовка встановлюється на оправці шліцьовій за шліцьовим отвором з упором в торець, оправка встановлюється на верстаті в нерухомих центрах).

Величину мінімального припуску при обробленні зовнішніх і внутрішніх циліндричних поверхонь заготовки (двосторонній припуск) визначають за формулою [8]:

$$2Z_{\min i} = 2 \cdot (Rz_{i-1} + h_{i-1} + \sqrt{\rho_{i-1}^2 + \varepsilon_{yi}^2}),$$

де Rz_{i-1} – висота мікро–нерівностей профілю на попередньому переході (операції), мкм;

h_{i-1} – глибина дефектного поверхневого шару на попередньому переході (операції) мкм;

ρ_{i-1} – сумарні значення просторових відхилень форми на попередньому переході (операції), мкм;

ε_{yi} – похибка установки заготовки на виконуваному переході (операції), мкм.

Висоту мікронерівностей Rz і глибину дефектного шару h вибирають за таблицями [9]:

- а) чорнове точіння: $Rz = 320$ мкм; $h = 350$ мкм;
- б) півчистове точіння: $Rz = 200$ мкм; $h = 160$ мкм;
- в) чистове точіння: $Rz = 125$ мкм; $h = 120$ мкм;
- г) чистове шліфування: $Rz = 40$ мкм; $h = 40$ мкм.

Сумарне значення просторових відхилень форми заготовки при обробці в патроні валу розраховується за формулою [9]:

$$\rho_{\text{заг}} = \sqrt{\rho_{\text{зм}}^2 + \rho_{\text{кор}}^2},$$

де $\rho_{\text{зм}}$ – похибка, пов'язана зі ступенів поковки в радіальному напрямку, $\rho_{\text{зм}} = 1400$ мкм за [6];

$\rho_{\text{кор}}$ – похибка, пов'язана з коробленням поверхонь поковки, $\rho_{\text{кор}} = 1200$ мкм [6].

$$\rho_{\text{заг}} = \sqrt{1400^2 + 1200^2} = 1830 \text{ мкм.}$$

Величина залишкового сумарного значення просторових відхилень форми заготовки після виконання переходу (операції) визначається за формулою [9]:

$$\rho_i = \rho_{\text{заг}} \cdot k_y,$$

де $\rho_{\text{заг}}$ – сумарне значення просторових відхилень форми заготовки.

K_y – коефіцієнт уточнення вибирається за [9].

Сумарні значення просторових відхилень форми по переходах дорівнюють:

$$\rho_{\text{чор.т.}} = 0,06 \cdot 1830 = 110 \text{ мкм};$$

$$\rho_{\text{п/ч т.}} = 0,05 \cdot 109,8 = 5,5 \text{ мкм.}$$

$$\rho_{\text{чист. т.}} = 0,04 \cdot 5,49 = 0,22 \text{ мкм.}$$

$$\rho_{\text{чист.ш.}} = 0,04 \cdot 73,2 = 0,0088 \text{ мкм.}$$

Необхідне положення заготовки в робочій зоні верстата досягається в процесі її встановлення. Процес установки містить базування і закріплення. Відхилення у положенні заготовки, що виникає при базуванні при закріпленні – називається похибкою закріплення.

При більш точних розрахунках точності обробки, похибку ε_y , можна визначити за [9]:

- для чорнового точіння: $\varepsilon_y = 140$ мкм;
- для півчистового точіння: $\varepsilon_y = 100$ мкм;
- для чистового точіння: $\varepsilon_y = 0$ мкм;
- для чистового шліфування: $\varepsilon_y = 0$ мкм.

Елементи припуску заносяться до таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 – Елементи припуску

Вид обробки	Елементи припуску			
	Rz_{i-1} , мкм	h_{i-1} , мкм	ρ_{i-1}^2 , мкм	ε_{yi}^2 , мкм
Поковка на КГШП	-	-	1830	-
Чорнове точіння	320	350	110	140
Півчистове точіння	200	160	5,5	100
Чистове точіння	125	125	0,22	0
Чистове шліфування	40	40	0,0088	0

Розраховані значення припусків і міжопераційних розмірів на оброблення поверхні $\varnothing 190k6$ подані в додатку В. Схему розміщення полів припусків і допусків на оброблення зовнішньої циліндричної поверхні $\varnothing 190k6$ подано на рисунку 2.2.

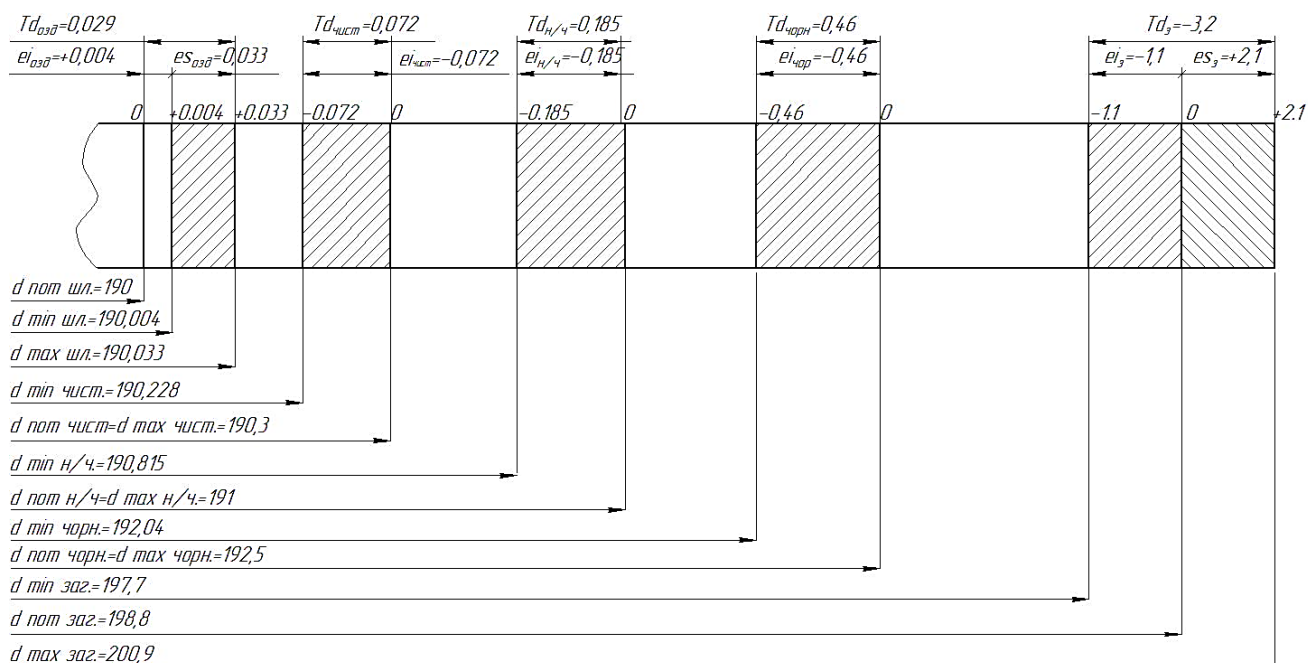


Рисунок 2.2 – Схема розміщення полів припусків і допусків на оброблення зовнішньої циліндричної поверхні $\varnothing 190k6$

2.4 Обґрунтування вибору схем базування та закріплення заготовки

Згідно з завданням виконаємо обґрунтування вибору схем базування і закріплення заготовки на операцію токарну з ЧПК 020 (див. таблицю 2.1). Схема базування і закріплення заготовки як відомо істотно впливає на точність та якість оброблюваних поверхонь, та подальше обґрунтування вибору верстатного устаткування, засобів технологічного оснащення тощо. Схема базування повинна передбачати як принципи постійності технологічних баз та суміщення технологічної, конструкторської та вимірювальної баз, забезпечувати просте та надійне закріплення заготовки.

На токарній операції з ЧПК заготовка оброблюється за чотири установи.

На установі А виконується попереднє (чорнове) оброблення поверхонь заготовки з дотриманням розмірів: $\varnothing 192,5_{-0,46}$, $250,5_{-0,52}$, $116^{+0,35}$ та фаски $2 \times 45^\circ$ і 18° з шорсткістю Ra 6,3 мкм (див. рисунок 2.2).

На установі Б виконується попереднє (чорнове) оброблення поверхонь заготовки з дотриманням розмірів: $\varnothing 219,6_{-0,46}$, $\varnothing 120^{+0,87}$, $\varnothing 146^{+1}$, $248_{-0,46}$, $60^{+0,3}$ та фаски 12° і 18° з шорсткістю Ra 6,3 мкм (див. рисунок 2.3).

На установі В виконується (півчистове) оброблення поверхонь заготовки з дотриманням розмірів: $\varnothing 190,3_{0,072}$, $\varnothing 122^{+0,4}$, $247_{-0,29}$, $6^{+0,3}$, $2^{+0,25}$ з шорсткістю Ra 3,2 мкм (див. рисунок 2.4).

На установі Г виконується (півчистове та чистове) оброблення поверхонь заготовки з дотриманням розмірів: $\varnothing 219,6_{-0,29}$, $246_{-0,46}$ з шорсткістю Ra 3,2 мкм (див. рисунок 2.5).

Згідно рисунків 2.2 – 2.5 найбільш розвинутими поверхнями є зовнішні циліндричні поверхні та торці, тому реалізуємо установчу базу та подвійну опорну базу для чотирьох установ, яка позбавляє п'яти ступенів свободи:

- установча, позбавляє деталь трьох ступенів свободи: переміщень уздовж осі Z і обертань навколо осей X і Y;
- подвійна опорна, позбавляє деталь двох ступенів свободи: переміщень уздовж осей X і Y.

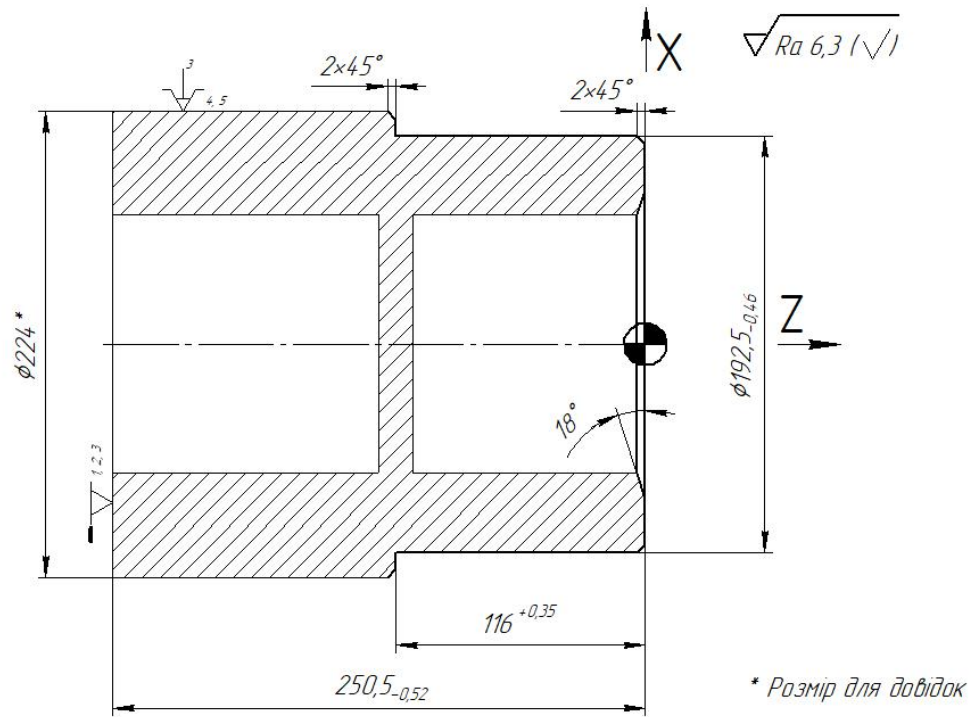
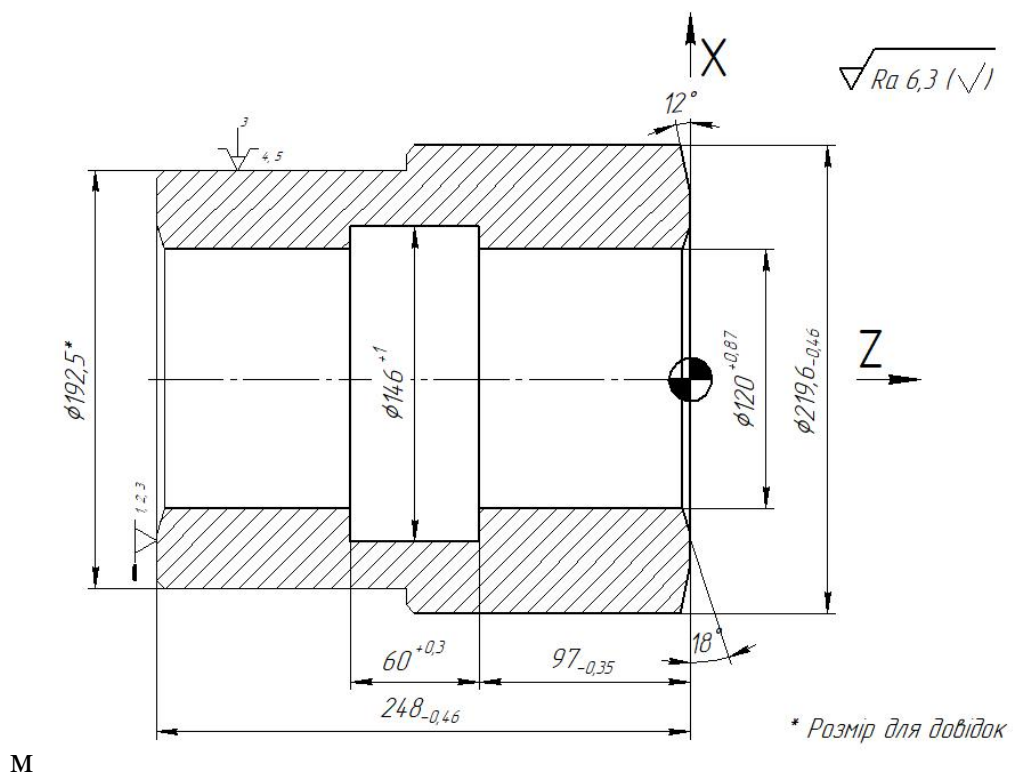


Рисунок 2.3 – Схема базування на установі А токарної операції з ЧПК 020



М

Рисунок 2.4 – Схема базування на установі Б токарної операції з ЧПК 020

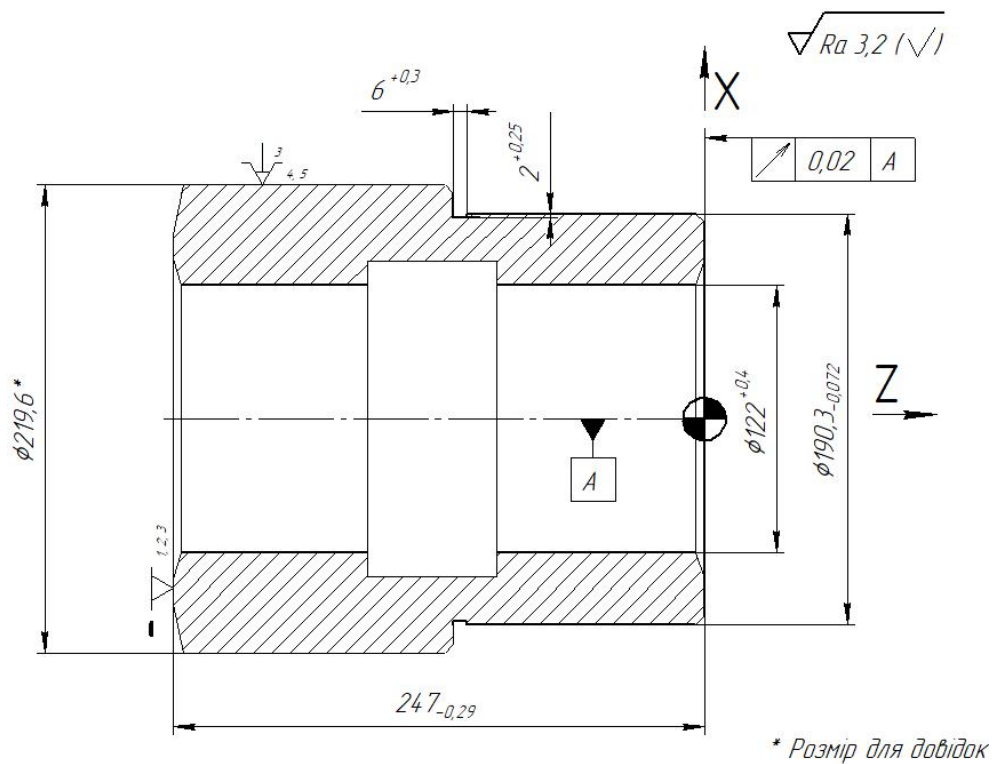


Рисунок 2.5 – Схема базування на установі В токарній операції з ЧПК 020

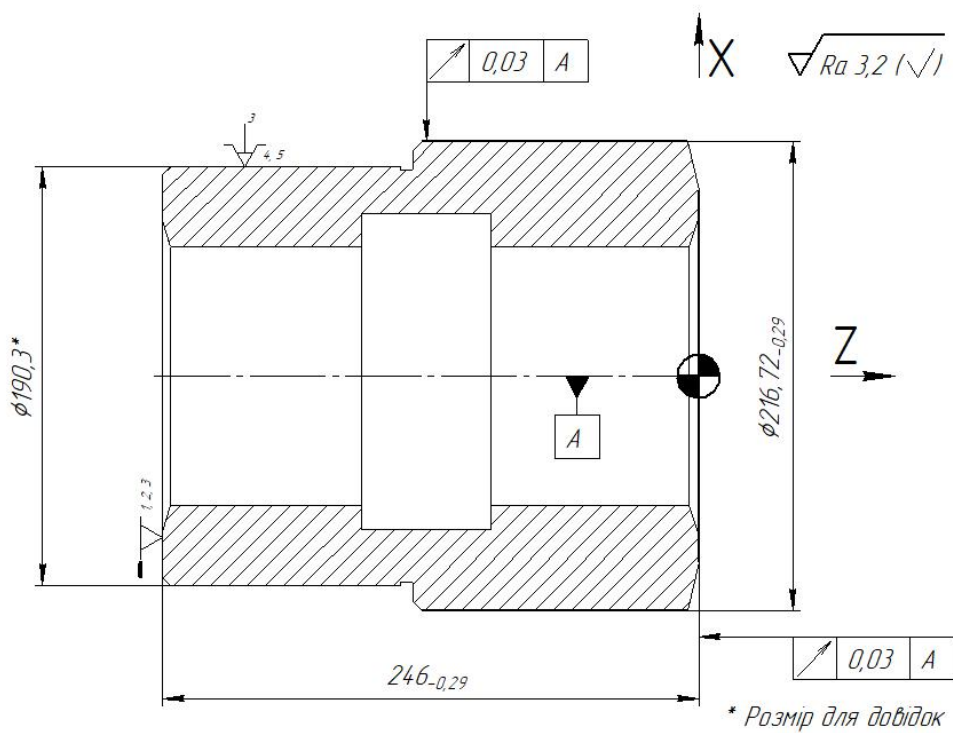


Рисунок 2.6 – Схема базування на установі Г токарній операції з ЧПК 020

В результаті є можливість поєднання технологічної бази з вимірювальними і конструкторськими базами, що усуває похибки базування на радіальні розміри і забезпечує необхідну точність обробки. Для осьових розмірів, заданих від лівого торця заготовки похибка базування дорівнює нулю (технологічна та вимірювальна бази співпадають). Однак на лінійні розміри заготовки: $116^{+0,3}$ мм (установ А); $97_{-0,35}$ мм, $60^{+0,3}$ мм (установ Б); $6^{+0,3}$ мм (установ В) похибка базування дорівнює допуску на розмір, який з'єднує вимірювальну і технологічну бази (див. рисунки 2.3 – 2.5). Тому маємо: $\varepsilon_{6116} = T_{250,5} = 0,52$ мм, проте похибка базування не впливає на точність розміру, оскільки він проставлений від оброблюваній на поточному установі поверхні; $\varepsilon_{697} = T_{248} = 0,46$ мм, $\varepsilon_{660} = T_{248} + T_{97} = 0,46 + 0,35 = 0,81$ мм, проте похибка базування не впливає на точність розміру, оскільки він проставлений від оброблюваній на поточному установі поверхні; $\varepsilon_{66} = T_{247} = 0,29$; проте похибка базування не впливає на точність розміру, оскільки він проставлений від оброблюваній на поточному установі поверхні.

Як альтернативну можна розглянути схему базування заготовки на циліндричній оправці, що реалізує подвійно напрямну базу по внутрішній циліндричній поверхні та опорну базу за упором в торець, але на окремих установках токарної операції реалізується оброблення центрального отвору заготовки розточуванням, що є неприйнятним, оскільки оправка буде перекирвати доступ різального інструмента до оброблюваної поверхні.

2.5 Обґрунтування вибору моделей металорізальних верстатів

У заводському технологічному процесі на розглянутій токарній операції використовується металорізальний верстат універсального типу токарно-гвинторізний верстат моделі 16К20 див. таблицю 1.3.

Аналізуючи це обладнання, виявлено що воно відповідає одиничному та дрібносерійному типу виробництва. Передбачається, що необхідна точність заданих розмірів досягається із застосуванням методу пробних проходів. Це призводить до малопродуктивної ручної праці та вимагає висококваліфікованих робітників, збільшується час і собівартість виготовлення деталі.

Тому на основі аналізу методів оброблення поверхонь, які застосовуються на цій операції і з огляду на габарити робочого простору і тип виробництва, потужність електродвигуна приводу головного руху, як металорізальне устаткування на токарній операції з ЧПК 020 пропонується використовувати токарний верстат з ЧПК сучасної моделі GILDEMEISTER CTX 600, котрий є більш продуктивним, з вищою точністю позиціонування супорту, жорсткішим компонованням технологічної системи та можливістю автоматизувати технологічний процес оброблення шестірні при токарній обробці на відміну від верстата моделі 16K20. Технічні характеристики зазначеного металорізального верстата наведені в таблиці 2.5.

Таблиця 2.5 – Технічна характеристика верстата GILDEMEISTER CTX 600

Характеристика	Величина
Максимальний діаметр встановлюваного виробу, мм	480
Ширина напрямних, мм	300
Максимальна оброблювана довжина, мм	1000
Діаметр виробу над супортом, мм	180
Поперечні переміщення, мм	205
Поздовжні переміщення, мм	620
Конус шпинделя	A2-6/D6
Діаметр патрона, мм	400
Діапазон швидкостей шпинделя, об / хв	4-5000
Ступені швидкості шпинделя	2 діапазони
Швидкі переміщення осей X / Z, м / хв	10/15
Точність позиціонування револьверної головки, мм	0,008
Час зміни інструменту – вертикальна 8-ти позиційна револьверна головка, с	2,1
Конус пінолі, мм	M4
Висування пінолі задньої бабки, мм	130
Потужність головного приводу, кВт	10,4
Маса, кг	8000
Габаритні розміри, мм	6000×2197×1969

2.6 Обґрунтування вибору верстатних пристроїв, різального та вимірювального інструментів

Відповідно до обраної схеми базування заготовки на токарній з ЧПК операції 020 обираємо різальний інструмент верстатне оснащення та вимірювальний інструмент.

Для установки та закріплення заготовки буде використовуватися механізований токарний самоцентруючий патрон з пневматичним приводом, який буде спроектовано в подальшому пункті.

В якості різальних інструментів візьмемо наступне:

– для чорнової обробки (для обробки зовнішніх поверхонь різець токарний прохідний з механічним кріпленням підтисканням важелем через отвір твердосплавної непереточувальної ромбічної пластинки з різучою кромкою 20 мм і кутом в плані 95° , задній кут пластинки 0° , лівий, перерізом державки $H \times B = 25 \times 25$ мм, довжиною 125 мм (різець PCLNR 2525-K20 з різальною пластинкою DNMM 200708 RN T5K12) по ISO; для обробки внутрішніх поверхонь використовуємо різець токарний розточувальний з механічним кріпленням підтисканням важелем через отвір твердосплавної непереточувальної ромбічної пластинки з різучою кромкою 20 мм і кутом в плані 95° , задній кут пластинки 0° , лівий, круглим перерізом $\varnothing 40$ мм, довжиною 250 мм (різець S40R PCNLR 20 з різальною пластинкою DNMM 200708 RN T5K12) по ISO; різець канавковий з механічним кріпленням затиском по зовнішній поверхні твердосплавної прямокутної пластини шириною 6 мм з перерізом державки $H \times B = 25 \times 25$ мм (різець MGENR 2525-6 з різальною пластиною LNMR 060708 RN T5K12));

– для чистової обробки (для обробки зовнішніх поверхонь різець токарний прохідний з механічним кріпленням підтисканням важелем через отвір твердосплавної непереточувальної ромбічної пластинки з різучою кромкою 15 мм і кутом в плані 95° , задній кут пластинки 7° , лівий, перерізом державки $H \times B = 25 \times 25$ мм, довжиною 125 мм (різець PCLNR 2525-K15 з різальною пластинкою DCMM 150501 FP T15K6) по ISO; для обробки внутрішніх поверхонь

використовуємо різець токарний розточувальний з механічним кріпленням підтисканням важелем через отвір твердосплавної непереточувальної ромбічної пластинки з ріжучою кромкою 15 мм і кутом в плані 95°, задній кут пластинки 7°, лівий, круглим перерізом Ø 40мм, довжиною 250 мм (різець S40R PCNLR 15 з різальною пластинкою DCMM 150708 FP T15K6) по ISO).

В якості допоміжного інструмента використовується інструментальний блок.

Для контролю розмірів використовуємо штангенциркуль цифровий ШЦЦ-I-250 0.01; спеціальний шаблон кутовий 12° і 18°; контрольно-вимірювальний пристрій для контролю радіального і торцевого биття.

Всі різальні вимірювальні та верстатні оснащення наведено в таблиці 2.6.

Таблиця 2.6 – Різальні, вимірювальні інструменти та верстатне оснащення

Номер та зміст переходу	Ріжучий інструмент	Допоміжний інструмент	Верстатний пристрій	Вимірювальний інструмент
Обточування зовнішніх та внутрішніх поверхонь	Для чорнової обробки: (різець PCLNR 2525-K20 з різальною пластинкою DNMM 200708 RN T5K12; різець S40R PCNLR 20 з різальною пластинкою DNMM 200708 RN T5K12; різець MGEHR 2525-6 з різальною пластиною LNMR 060708 RN T5K12) Для чистової обробки: (різець PCLNR 2525-K15 з різальною пластинкою DCMM 150501 FP T15K6; різець S40R PCNLR 15 з різальною пластинкою DCMM 150708 FP T15K6).	Інструментальний блок	Токарний самоцентрувальний патрон з пневматичним приводом	Штангенциркуль ШЦЦ-250-0,1 DIN862; скоба спеціальна 216,72h11; шаблон спеціальний кутовий 12° і 18°; контрольно-вимірювальне пристосування для контролю радіального і торцевого биття

2.6 Визначення режимів різання та технічне нормування операцій

Операція токарна з ЧПК 020.

Визначення режимів різання та нормування операції виконаємо згідно з аналітичною методикою за рекомендаціями [9].

За технологічне оснащення візьмемо наступне:

- устаткування: токарно-гвинторізний верстат з ЧПК моделі GILDEMEISTER CTX 600;
- верстатний пристрій: Токарний самоцентрувальний патрон з пневматичним приводом;
- ріжучий інструмент: для чорнової обробки: (різець PCLNR 2525-K20 з різальною пластинкою DNMM 200708 RN T5K12; різець S40R PCNLR 20 з різальною пластинкою DNMM 200708 RN T5K12; різець MGENR 2525-6 з різальною пластиною LNMR 060708 RN T5K12); для чистової обробки: (різець PCLNR 2525-K15 з різальною пластинкою DCMM 150501 FP T15K6; різець S40R PCNLR 15 з різальною пластинкою DCMM 150708 FP T15K6).

Дані для визначення режимів різання для установі А та Б наведені в таблицях 2.7 – 2.10 [8].

Таблиця 2.7 – Режими різання і норми часу на операції 020 (установ А).

Оброблювана поверхня	Режими різання					Норми часу			
	Глибина різання t , мм	Число проходів i	Подача S , мм/об	Частота обертання шпинделя n , об/хв	Швидкість різання V , м/хв	Основний час T_0 , хв	Допоміжний час T_B , хв	Штучний час $T_{шт}$, хв	Підготовчо-заклучний час $T_{пз}$
Ø192,5	2,0	2	0,73	315	118,69	0,49	1,5	2,8	15,5
Торець 250,5	2	2	0,9	160	188,72	0,22			
Торець 116	1,0	2	1,3	315	187,92	0,15			
Фаски 2x45°	2,1	1	1,3	250	149,15	0,04			
Фаска 18°	2,0	1	0,73	160	60,28	0,7			
Всього	-					1,6			

Таблиця 2.8 – Режими різання і норми часу на операції 020 (установ Б)

Оброблювана поверхня	Режими різання					Норми часу			
	Глибина різання t, мм	Число проходів і	Подача S, мм/об	Частота обертання шпинделя n, об/хв	Швидкість різання V, м/хв	Основний час T _о , хв	Допоміжний час T _в , хв	Штучний час T _{шт} , хв	Підготовчо-заключний час T _{пз} ,
Ø219,6	1,1	4	1,3	315	188,72	1,1	1,5	7,7	-
Ø120	1,5	1	0,73	315	118,69	1,3			
Канавка 60xØ146	1,7	8	0,6	400	183,37	1,5			
Торець 248	1,5	2	0,9	160	188,72	0,19			
Фаска 12°	1,6	3	0,9	160	188,72	0,15			
Фаска 18°	1	2	0,73	160	60,28	0,11			
Всього	-					4,35			

Таблиця 2.9 – Режими різання і норми часу на операції 020 (установ В)

Оброблювана поверхня	Режими різання					Норми часу			
	Глибина різання t, мм	Число проходів	Подача S _о , мм/об	Частота обертання шпинделя n, об/хв	Швидкість різання V, м/хв	Основний час T _о , хв	Допоміжний час T _в , хв	Штучний час T _{шт} , хв	Підготовчо-заключний час T _{пз} , хв
Торець 247	0,5	2	1,3	250	149,15	0,24	1,5	2,5	-
Ø190,3	0,3	4	0,4	1000	587	0,64			
Ø122	0,5	1	1,3	315	120,67	0,47			
Канавка b6	6	1	0,9	400	238,64	0,03			
	-					1,38			

Таблиця 2.10 – Режими різання і норми часу на операції 020 (установ Б).

Оброблювана поверхня	Режими різання					Норми часу			
	Глибина різання t , мм	Число проходів	Подача S_0 , мм/об	Частота обертання шпинделя n , об/хв	Швидкість різання V , м/хв	Основний час T_0 , хв	Допоміжний час $T_В$, хв	Штучний час $T_{шт}$, хв	Підготовчо- заклучний час $T_{пз}$, хв
Торець 1246	0,5	2	1,3	250	149,15	0,24	1,5	1,1	-
$\varnothing 216,72$	0,4	4	0,4	500	339,12	0,37			
Всього	-					0,61			

2.7 Проєктування засобів технологічно оснащення

2.7.1 Проєктування верстатного пристрою

Під час розроблення перспективного технологічного процесу виготовлення деталі (див. таблицю 2.1) для базування та закріплення заготовки на операції токарній з ЧПК 020 запропоновано використовувати верстатний пристрій у вигляді токарного самоцентрувального патрона з механізованим приводом закріплення заготовки, що потребує відповідних проєктних робіт та досліджень.

Так, згідно з пропонованою схемою базування (див. рисунки 2.3–2.6) заготовка позбавляється 5-ти ступенів свободи. Мають місце дві технологічні бази: установча (позбавляє заготовку 3-х ступенів свободи) та подвійна опорна (позбавляє заготовку 2-х ступенів свободи). Вакантним залишається обертання заготовки навколо її центральної осі. Завдяки використанню ефекту самоцентрування похибка базування заготовки на розміри, задані в радіальному напрямку можна вважати відсутніми ($E_6 = 0$). Враховуючи, що під час токарного оброблення на кожному з установів підрізається правий торець заготовки в розмір, заданий від лівого торця, який є технологічною базою, а всі інші осьові розміри задаються від правого торця, для них похибка базування теж можна вважати такою, що дорівнює нулю. Отже точність радіальних та осьових розмірів під час

установлення заготовки в токарному самоцентрувальному патроні можна гарантувати для всіх чотирьох установів.

Розрахунок сили закріплення виконаємо з урахуванням міркувань про те, що найбільше силове навантаження (найбільша сила різання) спостерігається під час оброблення заготовки на установі Б (див. рисунок 2.3). Для виявлення розрахункової моделі для визначення сили необхідної закріплення заготовки розглянемо схему дії сил різання та сил закріплення (див. рисунок 2.7), що діють на заготовку відповідно до прийнятої схеми базування (див. рисунок 2.3).

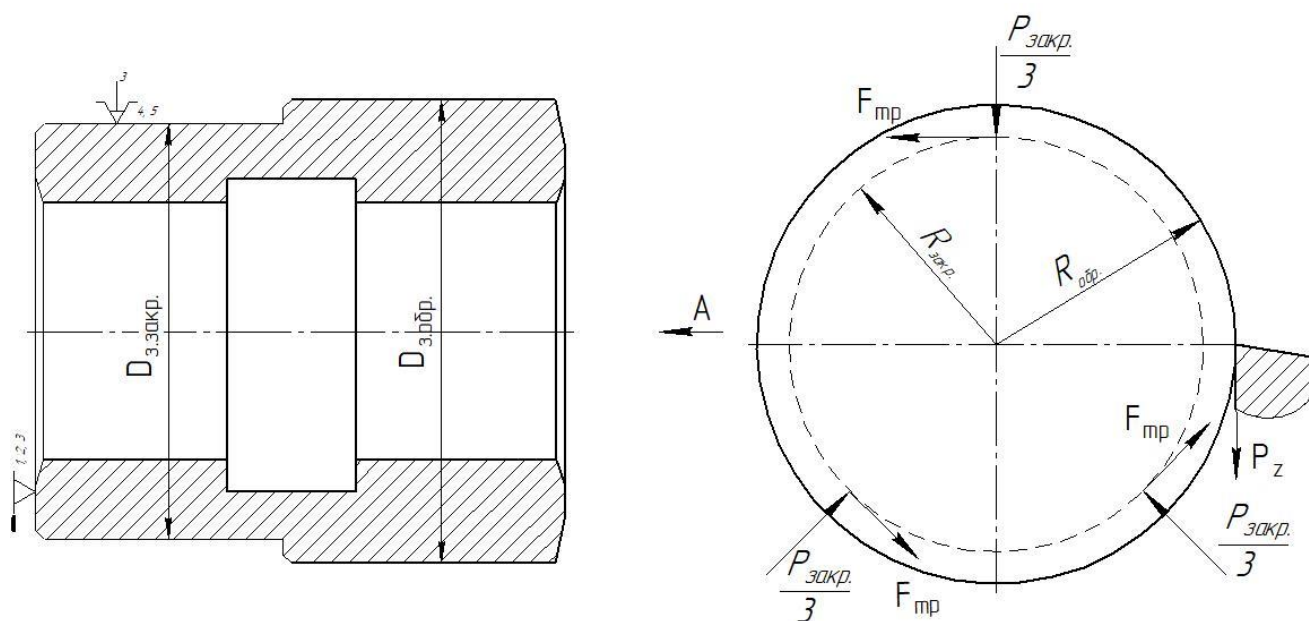


Рисунок 2.7 – Схематичне зображення сил, які діють під час закріплення та оброблення шестірні

На рисунку 2.7 зображені: $D_{z.obr}$ – діаметр оброблюваної поверхні, $D_{z.zakr}$ – діаметр закріплюваної поверхні, P_z – тангенціальна складова сили різання, $F_{тр}$ – сила тертя, що виникає через прикладення до поверхні закріплення сили закріплення $P_{закр.}$. Сила закріплення $P_{закр.}$ розподіляється між трьома точками (зонами), контакту кулачків патрона та закріплюваної поверхні заготовки і позначається, як $\frac{P_{закр.}}{3}$. Якщо складові сили закріплення прикладені нормально до закріплюваної поверхні, то сили тертя за визначенням розміщуються за дотичною

до закріплюваної поверхні, в напрямку протилежному щодо напрямку дії сили різання P_z . В результаті рівняння рівноваги моментів різання $M_{різ}$ та тертя $M_{тр}$ матиме такий вигляд:

$$M_{різ} = M_{тр},$$

$$P_z \cdot R_{обр} = F_{тр} \cdot R_{закр},$$

де $R_{обр}$, $R_{закр}$ – відповідно радіуси оброблюваної та закріплюваної поверхонь.

Силу тертя за визначенням розраховують за формулою

$$F_{тр} = P_z \cdot f,$$

де f – коефіцієнт тертя, характерний для контактуючих поверхонь заготовки та кулачків патрона.

В результаті силу закріплення заготовки можна визначити за формулою

$$P_z = \frac{K_{зап} \cdot P_z \cdot R_{обр}}{R_{закр} \cdot f},$$

де $K_{зап}$ – коефіцієнт запасу.

Для розрахунку сили закріплення беремо такі первинні дані: $R_{обр} = 110$ мм, $R_{закр} = 97$ мм, $f = 0,2$.

Коефіцієнт запасу K вводять до формули з обчислення сили P_z для забезпечення надійного закріплення заготовки, за [10]. За попередніми розрахунками $K_{зап} = 2,5$. При цьому визначальними факторами під час обчислення коефіцієнту запасу стали: гарантований запас, необхідність урахування можливого збільшення сил різання через випадкові нерівності на оброблюваних поверхнях (актуально для чорнового оброблення), можливе збільшення сил різання внаслідок затуплення різального інструменту.

Величина тангенціальної складової сили різання визначена за попередніми розрахунками становить ≈ 650 Н (глибина різання $t_{\max} = 1,7$ мм, поздовжня подача $S = 1,3$ мм/об, швидкість різання $V = 188,72$ м/хв).

В результаті сила закріплення заготовки становить

$$P_3 = \frac{2,5 \cdot 650 \cdot 110}{97 \cdot 0,2} \approx 9214 \text{ Н.}$$

Для базування та закріплення заготовки планується використовувати токарний патрон з клиновим передавальним механізмом. Кут клина беремо з конструктивних міркувань в розмірі 12° . В такому разі необхідну силу на штоку привода можна розрахувати за формулою

$$Q = P_3 / i_c = 9214 / 2,2 = 4188 \text{ Н,}$$

де $i_c = 2,2$ – коефіцієнт передачі клинового механізму [10].

Дійсна сила на штоку для циліндра двосторонньої дії при подачі повітря в штокову порожнину розраховується за формулою

$$P_D = \frac{\pi}{4} \cdot (D_{II}^2 - d_{III}^2) \cdot p \cdot \eta,$$

де D_{II} – діаметр пневмоциліндра, мм;

d_{III} – діаметр штока, $d_{III} = 50$ мм;

p – рекомендований тиск, $p = 1,6$ МПа;

η – коефіцієнт корисної дії, $\eta = 0,9$.

Діаметр пневмоциліндра, що забезпечує необхідну силу закріплення заготовки, визначається за формулою:

$$D_{II} = \sqrt{d_{III}^2 + \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot p \cdot \eta}},$$

$$D_{II} = \sqrt{50^2 + \frac{4 \cdot 4188}{3,14 \cdot 0,4 \cdot 0,9}} = 131,5 \text{ мм.}$$

Беремо стандартний діаметр стаціонарного поршневого пневмоциліндра згідно з [10]: $D_{II} = 160 \text{ мм.}$

Дійсна сила закріплення заготовки на штоку пневмоциліндра:

$$Q = \frac{3,14}{4} \cdot (160^2 - 50^2) \cdot 0,4 \cdot 0,9 = 6530 \text{ Н.}$$

Дійсна сила закріплення заготовки перевищує необхідну силу затиску заготовки, отже, пристосування забезпечує фіксоване положення деталі під час її оброблення.

В результаті з урахуванням передавального відношення 2,2 сила закріплення заготовки становитиме 14370 Н.

Тепер розрахуємо точність токарного патрону та перевіримо чи можливо забезпечити найточніший розмір $\varnothing 190,3h8$, який отримується на токарній операції з ЧПК 020. Тоді розрахунок пристрою на точність слід провести за формулою [10]:

$$\varepsilon_{\text{пр}} = \delta - k_T \sqrt{(k_{T1} \cdot \varepsilon_6)^2 + \varepsilon_3^2 + \varepsilon_y^2 + \varepsilon_H^2 + \varepsilon_{II}^2 + (k_{T2} \cdot \omega)^2},$$

де δ – допуск виконавчого розміру при обробці; виходячи з умов обробки (чистова обробка заготовки на токарному верстаті з ЧПК), $\delta = 0,72 \text{ мм}$;

k_T – коефіцієнт, який враховує відхилення розсіянь значень складових величин від закону нормального розподілу, $k_T = 1,1$;

k_{T1} – коефіцієнт, який враховує зменшення граничного значення похибки базування при роботі на налаштованих верстатах, $k_{T1} = 0,8$;

k_{T2} – коефіцієнт, який враховує долю похибки обробки в сумарній похибці, які викликані факторами не залежними від пристрою, $k_{T2} = 0,6$;

ω – економічна точність обробки, приймали для чистового точіння на токарних верстатів згідно [5], $\omega = 0,07$ мм;

ε_6 – похибка базування заготовки в пристрої, для токарної обробки у згідно [10], $\varepsilon_6 = 0$;

ε_3 – похибка закріплення в результаті дії сил затиску згідно таблице [10], $\varepsilon_3 = 0,07$ мм;

ε_y – похибка установки пристрою на верстаті, для токарних верстатів визначається за формулою:

$$\varepsilon_y = \frac{\delta_1}{2} + \frac{\delta_2}{2},$$

де δ_1 – допуск діаметра виточки фланця при його установці на шпindelь станка, $\delta_1 = 0,01$ мм,

δ_2 – допуск діаметра виточки корпусу патрона при його установці на фланець, $\delta_2 = 0,012$ мм,

$$\varepsilon_y = \frac{0,01}{2} + \frac{0,012}{2} = 0,011 \text{ мм};$$

ε_n – похибка положення заготовки, яка виникає при зношуванні елементів пристрою і визначається за формулою [10]:

$$\varepsilon_n = \beta \cdot N,$$

де β – постійна, яка залежить від виду встановлювальних елементів і умов контакту, $\beta = 0,6$;

N – кількість контактів заготовки і пристрою за год., $N = 100$.

$$\varepsilon_n = 0,004 \cdot 100 = 0,4 \text{ мкм};$$

ε_{π} – похибка від перекосу інструмента при застосуванні в револьверній інструментальній головці, $\varepsilon_{\pi} = 0$;

$$\varepsilon_{\text{пр}} = 0,5 - 1,1 \sqrt{0^2 + 0,07^2 + 0,011^2 + 0,0004^2 + 0^2 + (0,6 \cdot 0,07)^2} = 0,409 \text{ мм.}$$

За даним розрахунком зробимо висновок, що для забезпечення обробки деталі з допуском 0,72мм необхідно виготовити пристрій з точністю $\varepsilon_{\text{пр}} \leq 0,409$ мм.

Для дослідження візьмемо прототип токарного патрону з електронного ресурсу GrabCAD («онлайн-спільнота професійних інженерів, дизайнерів, виробників і студентів STEM на планеті»), що забезпечує «безкоштовний і простий спосіб ділитися своїми проектами САПР» [11]).

Будова токарного патрону.

В корпус поз. 4 через центральний отвір по його пазам встановлюється кулачки базові поз. 7 по черзі, далі по торцю до центрального отвору закріплюється за допомогою гвинтів поз. 20 фланець поз. 12, потім зі зворотної сторони боку корпусу насаджується стакан поз. 11 на фланець поз. 12. У стакані є три пази під 12° в яких входять похилі виступи кулачків базових, утворюючи клинові зв'язані пари. Далі в кулачки базові вкладаються Т – подібні шпонки поз.2. За ребристою поверхнею базових кулачків базуються кулачки накладні з аналогічною поверхнею поз. 6 утворюючи зубоподібну зв'язану пару та закріплюються за допомогою гвинтів поз. 21 через різьбовий отвір Т – подібний шпонок. Потім до стакану притискається фланець поз. 14, за допомогою внутрішньої циліндричної поверхні фланця поз. 13 та разом закріплюються гвинтами поз. 19, при цьому попередньо у радіальний різьбовий отвір фланця поз. 13 вкладається кулька поз. 8, пружина поз. 10 та загвинчені планкою поз. 9. Далі у внутрішню різьбову поверхню фланця поз. 14 вкручується втулка поз. 3 та в цю втулку вкручується шпилька поз. 16 та загвинчується гайкою поз. 17 з правого торця втулки. На зворотну сторону корпусу накладається кришка задня поз. 5 разом із фланцем поз. 15 та

закріплюється гвинтами поз. 18. Фланець поз. 15 зв'язує токарний патрон і складальну одиницю пневмоциліндр поз. 1.

Принцип дії верстаного пристрою.

Під час подачі стислого повітря в штокову порожнину пневмоциліндра поз. 1 поршень з штоком переміщається в пневмоциліндрі вліво, шток через тягу, шпильки поз. 16, втулки поз. 3, фланця поз. 14 та стакана поз. 11 пересуває похилі виступи кулачків базових поз. 7 вниз по похилих пазах стакана. При цьому кулачки накладні поз. 6, переміщаючись до осі патрона, затискають оброблювану деталь. Після обробки деталі стисле повітря подається в безштокову порожнину пневмоциліндра і поршень з штоком переміщається в пневмоциліндрі вправо. Шток через проміжні ланки пересуває стакан поз. 11 вправо, виступи кулачків базових поз. 7 переміщуються по похилих пазах стакана поз. 11 вгору, і змінні кулачки накладні поз. 6 розходяться від осі патрона, розтискаючи деталь.

2.7.2 Проектування контрольно-вимірювального пристрою

Згідно з завданням необхідно спроектувати контрольно–вимірювальний пристрій (КВП) для контролю радіального биття зовнішньої циліндричної поверхні $\varnothing 216h9$ і торцевого биття торцю $\varnothing 122/\varnothing 216$ щодо внутрішньої циліндричної поверхні отвору $\varnothing 120H9$ шестірні після токарної операції з ЧПК 020 див. рисунок 2.6.

Відповідно до завдання контроль биттів буде здійснюватися після токарної обробки деталі на робочому місці контролера ВТК.

В технологічному процесі заготовка оброблялася на токарному верстаті з ЧПК і контроль радіального та торцевого биття здійснювався альтернативним методом із застосуванням універсальних засобів, зокрема токарного самоцентруючого патрону та магнітної індикаторної стійки. Цей метод і засоби не є задовільними, оскільки контроль проводиться не на столі ВТК і не дає точної інформації щодо стану і якості заготовки. Застосування контрольного пристрою дозволяє забезпечити об'єктивність, точність та продуктивність операції контролю. Контроль радіального і торцевого биття поверхонь виконується

поперемінно і великий вплив на якість контролю надають суб'єктивні особливості оператора і у зв'язку з цим похибка контролю може досягати 25% [10].

В цілому контроль радіального та торцевого биття не викликає труднощів, оскільки проставлення відхилень розташування поверхонь вірна і є досить точні та розвинені базові поверхні. Принцип суміщення баз можливий

Для поверхні $\varnothing 216h9$ допуск на радіальне биття в 0,03 мм відповідає по 6-ому ступеню точності та для торцю $\varnothing 122/\varnothing 216$ допуск на торцеве биття в 0,03 мм відповідає 7-ому ступеню точності по ГОСТ 24643–81 [12].

З урахуванням цього при випуску запланованого обсягу продукції необхідно перевірити по радіальному та торцевому биттю поверхонь «шестерні». Виходячи з цього, спроектуємо нерозбірний спеціальний пристрій (НСП).

Радіальне биття поверхні визначається сумарним відхиленням від циліндричності поверхні і відхиленням від співвісності відносно базової осі і чисельно дорівнює різниці найбільшої і найменшої відстані від точок реального профілю поверхонь обертання до базової осі в розрізі площиною, перпендикулярною до базової осі.

Визначимо кількісно параметри точності цієї поверхні.

Зовнішня циліндрична поверхня $\varnothing 216h11$ виконана з точністю по IT11 і допусками: $T_{\varnothing 216h11} = 115$ мкм. Верхнє відхилення $es=0$ мкм, нижнє відхилення $ei=-115$ мкм. Торець $\varnothing 122/\varnothing 216$ виконаний з точністю по IT9 і допусками: $T_{1248h9} = 115$ мкм. Верхнє відхилення $es=0$ мкм, нижнє відхилення $ei= -115$ мкм.

Точність форм контрольованих поверхонь кресленням деталі не регламентовано. Тому, як точність форм, відповідно розглянемо, характерне для циліндричної поверхні її відхилення від циліндричності та для площини її відхилення від площинності. Так як допуск на точність форм поверхонь не вказано, то ми беремо його в межах допуску на відповідний розмір. В цьому випадку, для нормальної відносної геометричної точності «А» допуск циліндричності та допуск площинності становить 30% і 60% від допуску на розмір відповідно:

$$T_{\odot} = 0,3 \cdot T_{\varnothing 216h11} = 0,3 \cdot 0,115 = 0,0345 \text{ мм},$$

$$T_{\square} = 0,6 \cdot T_{1248h9} = 0,6 \cdot 0,115 = 0,069 \text{ мм},$$

що становлять відповідно, T_{\odot} найближчому стандартному значенню 0,03 мм та 8-му ступеню точності згідно і T_{\square} найближчому стандартному значенню 0,08 мм та 10-му ступеню точності згідно з [12].

Точність взаємного розташування для контрольованих поверхонь регламентована як допуск радіального биття 0,03 мм та допуск торцевого биття 0,03 мм відносно центрального отвору $\varnothing 122H9$ і становлять відповідно 6-й та 7-й ступінь точності [12].

Шорсткість контрольованих поверхонь «шестерні» регламентована кресленням деталі та становить для зовнішньої циліндричної поверхню $\varnothing 216,72h9$ $Ra=3,2$ мкм та торцю $\varnothing 122/\varnothing 216$ $Ra=1,6$ мкм (див. рисунок 2.6).

Циліндричний отвір $\varnothing 122H12$ виконаний за 12 квалітетом точності й допуском 0,4 мм (див. рисунок 2.5). Номінальний розмір – 120 мм. Верхнє відхилення $ES = +0,400$ мм; нижнє відхилення $EI = 0$ мм.

Торцева поверхня $\varnothing 122/\varnothing 193$ виконана в розмір 248h9. Номінальний розмір – 248 мм, допуск $T_{248h9} = 0,115$ мм. Верхнє відхилення $es = 0$ мм, нижнє відхилення $ei = -0,115$ мм [12].

Точність форми для розміру 1248h9 становить $T_{\square} = 0,08$ мм (10 ступінь точності). Для внутрішньої циліндричної поверхні $\varnothing 122H12$ допуск форми не регламентовано. Характерним для циліндричного отвору є допуск циліндричності. Визначимо його величину для умов нормальної відносної геометричної точності, як 30% від допуску на діаметр отвору:

$$T_{\odot} = 0,3 \cdot T_{\varnothing 122H12} = 0,3 \cdot 0,4 = 0,12 \text{ мм},$$

що відповідає найближчому стандартному допуску в 0,5 мм та 10-му ступеню точності [12].

Точність взаємного розташування базових поверхонь також не регламентовано кресленням деталі. Визначимо допуск радіального биття для циліндричного отвору $\varnothing 122H12$ та допуск торцевого биття для торця $\varnothing 122/\varnothing 193$ за аналогією до визначення допусків форми зазначених поверхонь.

Так, стандартна величина допуску радіального биття циліндричного отвору $\varnothing 122H12$ становитиме 0,15 мм, що відповідає 8-му ступеню точності [12].

Стандартна величина допуску торцевого биття торця $\varnothing 122/\varnothing 193$ становитиме 0,03 мм, що відповідає 7-му ступеню точності [12].

Шорсткість циліндричного отвору $\varnothing 122H12$ відповідає 6,3 мкм за критерієм Ra. Шорсткість торця $\varnothing 122/\varnothing 193$ відповідає 6,3 мкм за критерієм Ra.

Аналізуючи параметри точності базових поверхонь приходимо до висновку про придатність розглянутих поверхонь на роль базових.

З рисунка 2.8 видно, що отвір $\varnothing 122H12$ з встановленою в нього розтискною оправкою реалізує подвійну направляючу базу, яка позбавляє деталь чотирьох ступенів вільності: двох обертальних і двох поступальних переміщень навколо і уздовж осей X і Y при вертикальному розташуванні центральної осі деталі. Нижній торець деталі $\varnothing 122/\varnothing 193$ грає роль опорної бази, яка накладає на деталь ще один (п'ятий) зв'язок, позбавляючи виріб поступального переміщення уздовж осі Z.

Оскільки обрана схема базування дозволяє дотриматися принципу суміщення баз для контрольованого параметра, то похибка базування $\varepsilon_{\delta \uparrow} = 0$ мм. Вакантним залишається обертання навколо власної осі X.

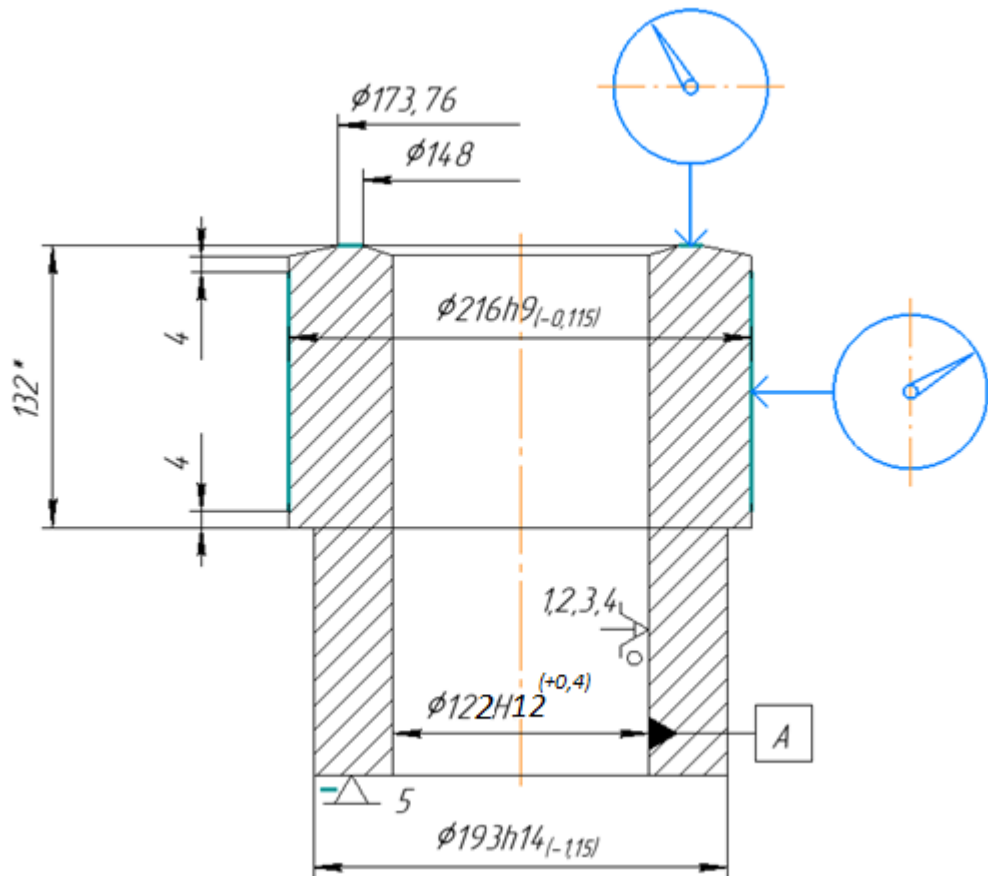


Рисунок 2.8 – Схема базування та контролю шестірні

Під час вимірювання радіального биття «фланця», вісь деталі буде розташовано вертикально, у зв'язку з чим сили гравітації будуть притискати деталь до опорних поверхонь. Під час установки виробу буде використовуватися розтискна гідропластова оправка. Остання буде забезпечувати незначне зусилля розтискання, що дозволить вибрати гарантований зазор між оправкою та отвором. В результаті, похибка закріплення ε_3 виробу у радіальному напрямку дорівнюватиме нулю.

Контроль заданого параметра буде проводитися безпосередньо на токарній дільниці, на робочому місці, розташованому поруч з верстатом. Температура в робочій зоні – $t = 20^{\circ} \pm 5^{\circ} \text{ C}$; відносна вологість повітря – $\varphi_{\text{н}} = 80\%$; атмосферний тиск – $P_{\text{ат}} = 86 \dots 106 \text{ кПа}$; швидкість руху повітря – $V_{\text{п}} \leq 0,5 \text{ м/с}$; частота вібрацій, що викликається верстатами, $f = 20\text{--}30 \text{ Гц}$. Основним фактором, що визначає працездатність зору, є освітлення. Точність контролю радіального биття вимагає

досить високої напруги очей, тому для нормальної роботи разом із загальним $E_{\phi}=100$ люкс, призначаємо місцеве освітлення з $E_{\phi} = 2000$ люкс [12].

З переліку функцій, які реалізуються в КВП, складемо набір функцій, які необхідно здійснити, щоб стала можливою операція контролю: установка (зняття) деталі; базування; закріплення; налаштування; об'єднання; прийом інформації; передача і перетворення інформації; видача (відображення) результатів вимірювання; підведення і (відведення) засобу вимірювання.

З можливих альтернатив прямого і непрямого методу віддаємо перевагу прямому методу, оскільки його простіше зробити при контролі радіального та торцевого биття контрольованих поверхонь «шестірні». При цьому немає необхідності в перерахунку контрольованого параметра і отримується точність цілком достатня для допуску, що перевіряється.

При виборі контактного або безконтактного способів віддаємо перевагу контактному способу. Це обумовлено тим, що характеристики міцності матеріалу деталі є досить високими (сталь 40Х) і контрольована поверхня без деформацій і змінання може сприйняти значне вимірювальне зусилля. При цьому певне зусилля вимірювання сприятиме видалення бруду і сторонніх тіл з місця вимірювання.

Для забезпечення точкового контакту призначаємо наконечник сферичної форми з радіусом не менше 5 мм.

З огляду на значну твердість контрольованої поверхні (60 HRC), геометричні параметри наконечника, орієнтовно призначаємо вимірювальне зусилля 500 сН (5 Н). В цьому випадку очікувана похибка від вимірювального зусилля визначається за формулою:

$$\Delta_{зус} = 0,43 \cdot K \sqrt[3]{\frac{P_{зус}^2}{r}}$$

де $\Delta_{зус}$ – величина похибки контактної деформації, мкм;

K – коефіцієнт, який залежить від матеріалу вимірювального наконечника.

За умови твердого сплаву маємо $K = 0,81$;

$P_{зус}$ – вимірювальне зусилля, Н;

r – радіус сфери наконечника, мм

$$\Delta_{зус} = 0,43 \cdot 0,81 \sqrt[3]{\frac{5^2}{5}} = 0,595 \text{ мкм}$$

Деталь контролюється при повороті на 360° , що характерно для динамічного методу контролю.

З двох можливих методів – абсолютного і відносного – кращий другий (відносний), так як він надає більш широкі можливості для різних конструктивних рішень, дозволяє здійснити більш точні вимірювання.

Налаштування КВП буде проводитися без використання еталонної деталі.

Виходячи зі структури потоку функцій, що реалізуються КВП, встановлюємо час на контрольну операцію 2,0 хв. Така тривалість контролю не вимагає високого рівня механізації, так як може бути здійснена вручну на простому вимірювальному пристрої.

КВП повинен мати шкальний відліковий пристрій, який забезпечує достатню точність відліку без надмірного напруження зору.

Приймаємо механічний принцип перетворення вимірювальної інформації. Це рішення зумовлене контактним методом контролю. На його користь говорить великий арсенал технічних засобів, що пройшли багаторічну апробацію на точність і надійність роботи на робочих місцях контролерів ВТК.

Вибір засобу вимірювання (ЗВ) почнемо з визначення оптимальних метрологічних, експлуатаційних і характеристик надійності, якими має володіти ЗВ.

Допустима сумарна похибка вимірювання КВП знаходиться як частина допуску ІТ контрольованого параметра, зокрема, радіального та торцевого биття контрольованих поверхонь:

$$[\delta_{\text{вим.}}]=K \cdot IT,$$

де K – залежить від якості або ступеня точності контрольованого параметра і може приймати від 0,2 до 0,35.

Для 6–7–го ступеня точності з допуском в 30 мкм приймаємо $K = 0,3$ [12].

Тож для радіального та торцевого биття маємо:

$$[\delta_{\text{вим.}}]=0,3 \cdot 30 = 9 \text{ мкм.}$$

Визначимо допустиму похибку засобу вимірювання (інструментальну похибку) для контролю радіального та торцевого биття [12]:

$$[\Delta_{\text{ін.}}]=0,7 \cdot [\delta_{\text{вим.}}],$$

$$[\Delta_{\text{ін.}}]=0,7 \cdot 9 = 6,3 \text{ мкм.}$$

Ціна поділки ЗВ розраховується залежно від величини допустимої інструментальної похибки ЗВ. Приймаємо:

$$[c] = [\Delta_{\text{ін}}] = 6 \text{ мкм.}$$

Інтервал поділки шкали $[a]$ беремо 1,0 мм, оскільки менша відстань між сусідніми штрихами шкали може утруднити зчитування показань ЗВ. Необхідно враховувати умови, в яких буде працювати КВП, і перш за все освітленість

Межа вимірювання за шкалою $[A]$ повинна перевищувати допуск IT , щоб зняття показань не викликало труднощів [11]. Приймаємо:

$$[A] = 4 \cdot IT = 4 \cdot 30 = 120 \text{ мкм} = 0,12 \text{ мм.}$$

Межа вимірювання засобу (діапазон вимірювань) визначається вимогами експлуатації. Приймаємо $[B]=0,5 \text{ мм.}$

Вимірювальне зусилля $[P_{зус}]$ обумовлюється характером контрольованих поверхонь при вимірюванні, жорсткістю контрольованої поверхні, величиною допуску вимірюваного параметра. Значення вимірювального зусилля прийнято в пункті 6. Оскільки обмеження на його величину відсутні, приймаємо $[P_{зус}] = 5 \text{ Н}$.

Допустиме коливання вимірювального зусилля обумовлюємо величиною $[\Delta P_{зус}] = 1 \text{ Н}$.

Основним нормованим показником надійності ЗВ є напрацювання $t(P)$ до першої відмови при ймовірності безвідмовної роботи P . Відповідно до [12] кількість циклів вимірювань, що забезпечує задану кількість контрольних операцій:

$$[t(P)] = 1200 \cdot 4 = 4800 \text{ циклів.}$$

Ймовірністю безвідмовної роботи задамося $[P] = 0,85$, виходячи із можливостей вимірювальних засобів, що випускаються інструментальною галуззю машинобудування.

Згідно з усталеними цінами на контрольно-вимірювальні засоби вітчизняного і імпортного виробництва, встановимо витрати на придбання ЗВ: $[Ц] = 3000 \text{ грн}$.

Після того, як стали відомі допустимі значення по метрологічним, експлуатаційним і надійнісним показникам, можна приступити до пошуку ЗВ. Прийнятним вважається ЗВ, значення характеристик якого знаходяться в такому співвідношенні з допустимим: $\Delta_{ін} \leq [\Delta_{ін}]; P_{зус} \leq [P_{зус}]; c \leq [c]; A \geq [A]; a \geq [a]; B \geq [B]; P \geq [P]; \Delta P \leq [\Delta P]; t(P) \geq [t(P)]; Ц \leq [Ц]$.

Пошук здійснюємо відповідно до паспортів і таблиць технічних характеристик для важільно-зубчастих та інших вимірювальних голівок. Виходячи із вище перелічених допустимих метрологічних характеристик ЗВ вибираємо індикатор часового типу моделі TESA YR 01412510 з ціною поділки 0,001 мм фірми TESA з наступними характеристиками: $\Delta_{ін} = 0,001 \text{ мм}$;

$c = 0,001$ мм; $A = 1$ мм; $B = 1,0$ мм; $P_{зyc} = 200$ сН; $\Delta P_{зyc} = 80$ сН; $t(P) = 100000$; $P = 0,9$; $\text{Ц} = 2500$ грн.

Зіставивши ці значення з допустимими, приходимо до висновку, що задані умови точності, надійності і економічності дотримуються:

$$\Delta_{ін} = 0,001 < 0,006 = [\Delta_{ін}];$$

$$c = 0,001 < 0,006 = [c];$$

$$a = 1\text{мм} \geq 1\text{мм} = [a];$$

$$A = 1\text{мм} > 0,12\text{мм} = [A];$$

$$P_{зyc} = 2\text{Н} < 5\text{Н} = [P_{зyc}];$$

$$\Delta P = 0,8\text{Н} < 1,0\text{Н} = [\Delta P];$$

$$B = 1,0\text{мм} > 0,5\text{мм} = [B];$$

$$P = 0,9 > 0,85 = [P];$$

$$t(P) = 100000 > 8000 = [t(P)];$$

$$\text{Ц} = 2500\text{грн} < 3000\text{грн} = [\text{Ц}].$$

Інші ЗВ мають меншу надійність, тому для нашого КВП найбільш відповідним вважаємо індикатор часового типу моделі TESA YR 01412510 .

Габаритні й приєднувальні розміри $l \times \varnothing \times b = 105 \times 58 \times 25$ мм, маса – 0,2 кг.

Під час контролю в пристрої реалізуються такі функції: базування і закріплення контрольованої деталі; установка і закріплення ЗВ; прийом, передача і перетворення вимірювальної інформації; переміщення ЗВ в робочу позицію; об'єднання функціональних вузлів.

Кінематичну схему пропонованого КВП подано на рисунку 2.9.

Рішення про компоувальну схему є результатом обробки інформації, отриманої на різних етапах проектування КВП. Так, узагальнюючи дані, приходимо до висновку, що найбільш зручна для конкретних умов контролю вертикальна схема компоування, представлена рисунку 2.10. Вона забезпечує компактність і жорсткість пристосування. Досягається зручність установки деталі на вимірювальну позицію. Забезпечується найкоротший шлях проходження сигналу від точки вимірювання до шкали – запорука простоти і точності. Крім того, дана схема компоування дозволяє зменшити витрату металу і надати конструкції технічно доцільний, а значить естетичний вигляд.

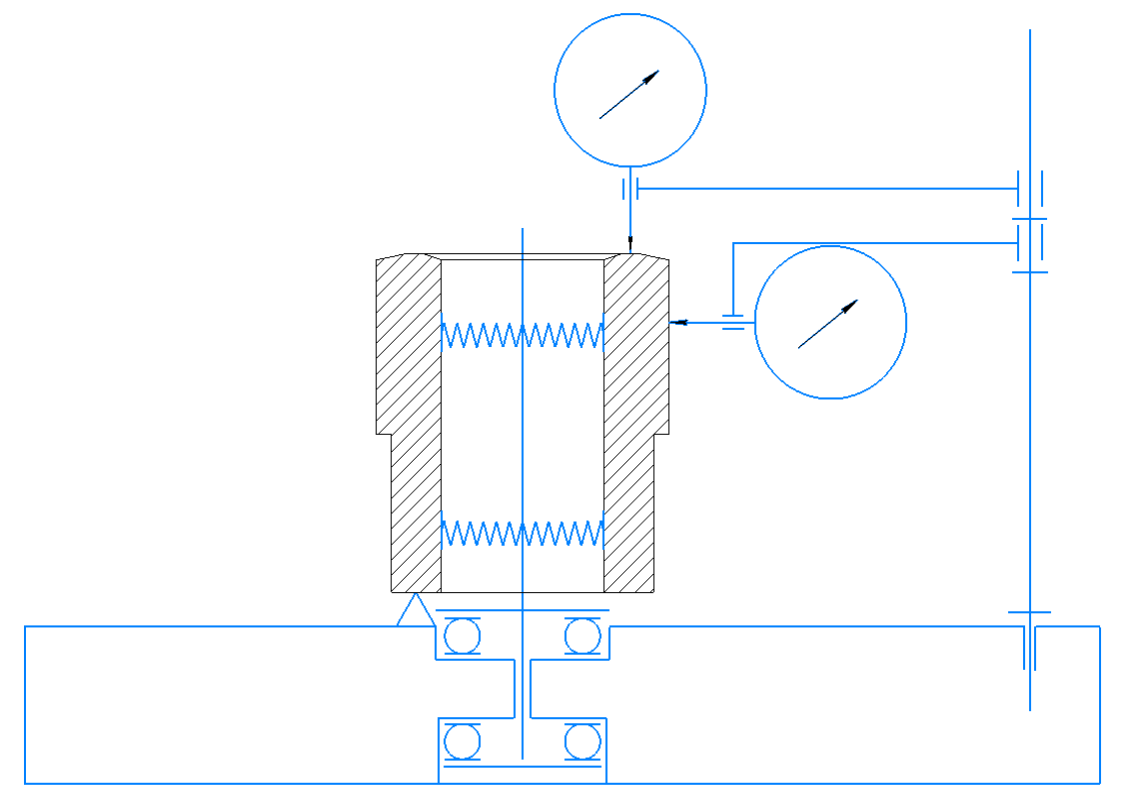


Рисунок 2.9 – Кінематична схема КВП

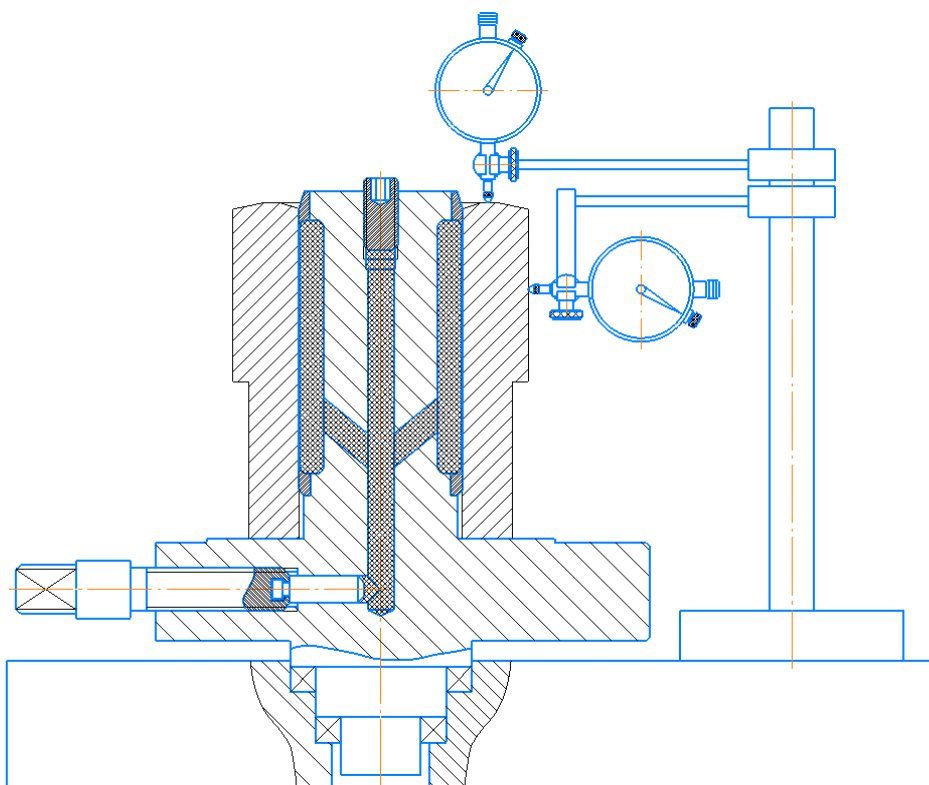


Рисунок 2.10 – Компонувальна схема КВП

Під час контролю радіального та торцевого биттів поверхонь «шестірні» сумарну фактичну похибку КВП можна визначити за формулою:

$$\varepsilon_{\text{КВП}} = \sqrt{\varepsilon^2 + \Delta_{\text{пер.пр.}}^2 + \Delta_e^2 + \Delta_{\text{ін}}^2 + \Delta_t^2 + \Delta_{\text{в.зус.}}^2},$$

де ε – похибка положення контрольованої деталі в пристрої. Вона визначається за формулою:

$$\varepsilon = \sqrt{\varepsilon_6^2 + \varepsilon_3^2 + \varepsilon_{\text{пр}}^2},$$

де ε_6 – похибка базування. У нашому випадку для базування в розтискній оправці (гідропластова оправка) при контролі радіального та торцевого биття вона дорівнює 0;

ε_3 – похибка закріплення. Беремо $\varepsilon_3 = 0$;

$\varepsilon_{\text{пр}}$ – неточність виготовлення елементів КВП, що беруть участь у формуванні розмірного ланцюга. В нашому випадку на контроль заданих параметрів буде впливати неточність виготовлення підшипників ковзання, що використовуються в механізмі обертання деталі. Останні за умови використання селективного складання можна виготовляти з точністю 5 мкм. Беремо $\varepsilon_{\text{пр}} = 5$ мкм.

$$\varepsilon = \sqrt{0^2 + 0^2 + 5^2} = 5 \text{ мкм}$$

де $\Delta_{\text{пер.пр.}}$ – похибка передавального пристрою. Оскільки в конструкції нашого КВП передавальні пристрої відсутні, то $\Delta_{\text{пер.пр.}} = 0$;

Δ_e – похибка виготовлення еталонної деталі. Оскільки для вимірювання радіального та торцевого биття еталонна деталь не потрібна, беремо $\Delta_e = 0$;

$\Delta_{\text{ін}}$ – похибка обраного засобу вимірювання, $\Delta_{\text{ін}} = 1$ мкм;

$\Delta_{\text{в.зус.}}$ – похибка, викликана вимірювальним зусиллям. Беремо

$$\Delta_{\text{в.зус.}} = 0,6 \text{ мкм} ;$$

Δ_t – похибка, викликана змінами температури навколишнього середовища. Оскільки контроль радіального биття здійснюється після вирівнювання температур контрольованого виробу та КВП, беремо $\Delta_t = 0$.

У підсумку, підставивши знайдені значення елементарних похибок, отримаємо:

$$\varepsilon_{\text{КВП}} = \sqrt{5^2 + 0^2 + 0^2 + 1^2 + 0^2 + 0,6^2} = 5,13 < 9 = [\delta_{\text{вим}}]$$

а значить, спроектований КВП для контролю радіальних биття – працездатний.

Спроектований пристрій складається з корпусу 9, в центральній частині якого за допомогою чотирьох гвинтів 15 закріплено фланець 10. В останньому, в свою чергу, в двох кулькових упорних підшипниках 17 і 18 встановлений шпindel 11 з гідропластовою оправкою 1. В боковій частині оправки 1 розташовано спеціальний гвинт з плунжером торцевий ключ, призначений для створення тиску в гідропласті і розтискання оправки. З боку корпусу 9 з чотирма гвинтами 15 закріплено індикаторну стійку 2 з індикатором 16.

Спроектований КВП працює так.

Контрольована деталь посадковим отвором $\varnothing 120\text{H}9$ до упору в нижній торець $\varnothing 120/\varnothing 193$ деталі встановлюється на гідропластову оправку 1. Після закріплення деталі на оправці 1, за рахунок загвинчування торцевих ключем спеціального гвинта в боковій частині оправки, вісь останньої самовстановлюється по осі отвору $\varnothing 120\text{H}9$ контрольованої деталі. Потім до контрольованої поверхні «фланця» підводяться вимірювальні наконечники індикаторів 17. Після повороту деталі на 360° по різниці найбільшого й найменшого показань індикаторів 17 судять про величину радіального та торцевого биття контрольованих поверхонь деталі.

2.10 Висновок

За результатом розроблення раціонального технологічного процесу виготовлення шестірні:

1) пропонується вдосконалення маршруту механічного оброблення заготовки при дотриманні принципів поетапності, суміщення технологічних, конструкторських та вимірювальних баз і постійності технологічних баз з використанням сучасних моделей металорізальних верстатів з ЧПК;

2) проведено техніко-економічне обґрунтування методу отримання заготовки, визначено припуски та розміри заготовки табличним методом, для зовнішньої циліндричної поверхні деталі $\varnothing 190k6$ розраховано операційні припуски та розміри уточнені аналітичним методом за допомогою ЕОМ;

3) детально проаналізовано токарну з ЧПК операцію з визначеним вибором схеми базування заготовки, вибору верстату та технологічного оснащення, режимів різання та нормативів часу;

4) спроектовано верстаний пристрій з механізованим приводом для установки заготовки на токарній операції з ЧПК 020;

5) удосконалення процедури контролю радіального та торцевого биттів після токарної з ЧПК операції за допомогою спроектованого спеціального контрольно-вимірювального пристрою, який підвищить якість та продуктивність операції технічного контролю;

6) для підтвердження правильності прийнятих під час проектування конструкції КВП технічних рішень та пошуку шляхів її оптимізації пропонується виконати дослідження моделі пропонованої конструкції з використанням методу статичного аналізу.

РОЗДІЛ 3

ДОСЛІДЖЕННЯ, СПРЯМОВАНЕ НА УДОСКОНАЛЕННЯ ІСНУЮЧОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ

Згідно з зауваженнями та пропозиціями, сформульованими за результатами аналізу існуючого технологічного процесу виготовлення «шестірні» пропонується виконати дослідження спроектованого токарного патрону, призначеного для базування та закріплення заготовки на токарній операції з ЧПК, спрямоване на структурно-параметричну оптимізацію його конструкції. Зокрема, пропонується виконати аналіз напружено-деформованого стану пропонованої конструкції токарного патрону (статичний аналіз), спрямований на пошук та усунення «слабких місць» конструкції.

Для пошуку «слабких місць» та удосконалення запропонованої конструкції патрону виконаємо дослідження верстатного пристрою в системі з заготовкою «шестірні» методом статичного аналізу з використанням програмного забезпечення Ansys Workbench. Для статичного аналізу системи «пристрій-заготовка» застосуємо модуль Static Structural (статичний аналіз конструкції). За визначенням він дозволяє розрахувати реакцію конструкції системи, що працює в умовах статичного навантаження.

Для статичного дослідження використовуємо твердотільну складальну модель прототипу токарного патрону [11] (див. рисунок 3.1), що відповідає проектному рішенню (див. п. 2.7 цієї роботи).

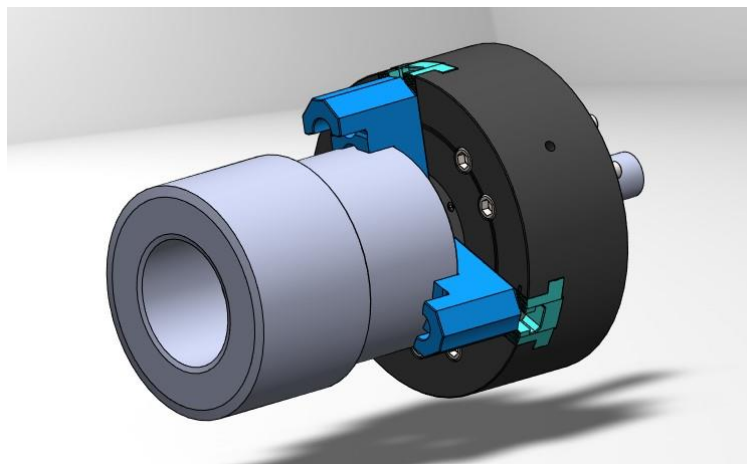


Рисунок 3.1 – 3D-модель системи «патрон-заготовка» (SolidWorks)

До складу досліджуваної системи увійшли тільки ті елементи, що здійснюють базування та закріплення шестірні та елементи, що входять до складу замкненого силового ланцюга, що діє в технологічній системі верстатного пристрою (кріпильні елементи (гвинти та гайки) для спрощення математичного обчислювання системи в програмі Ansys Workbench. В результаті виходить 3D-модель токарного патрону, подана на рисунку 3.2.

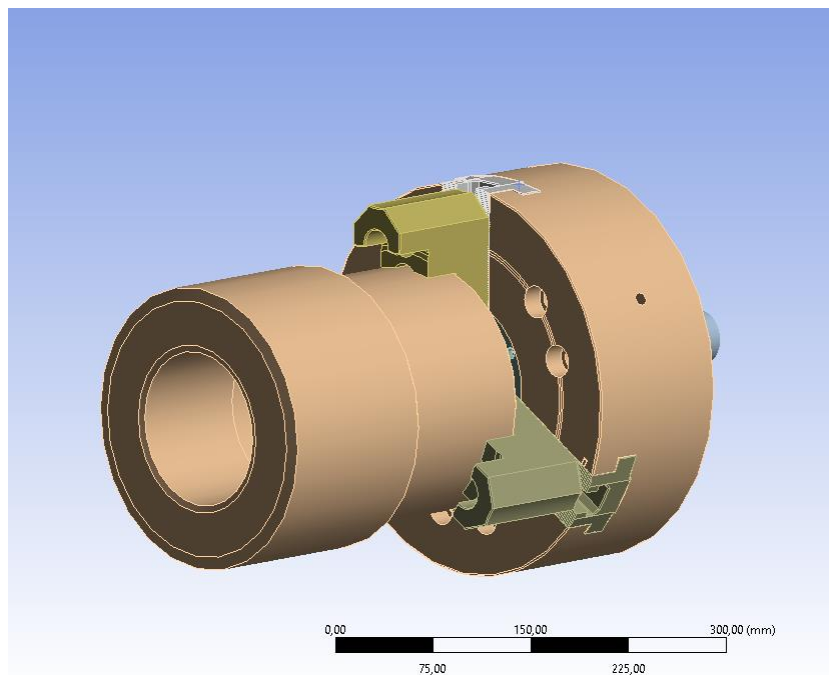


Рисунок 3.2 – Імпорт 3D-моделі системи «патрон-заготовка» в Ansys Workbench

Для підвищення рівня адекватності результатів розрахунку моделі необхідно задати відповідні фізико-механічні властивості матеріалів досліджуваної системи. Беремо всі матеріали за замовчуванням: конструкційна середньовуглецева сталь з межею міцності – 450 МПа, модуль Юнга – $2 \cdot 10^5$ МПа.

Для підвищення рівня адекватності результатів розрахунку моделі також необхідно задати характеристики з'єднань (тертя, відсутність тертя, жорстке з'єднання). Покажемо на рисунку 3.3 сполучення заготовки та одного із кулачків патрону щоб продемонструвати взаємодію заготовки та базуючих і закріплюючих елементів між собою.

Умови контакту між поверхнями заготовки та опорних поверхонь кулачків (див. рисунок 3.3). Усі сполучення поверхонь заготовки та поверхонь базування та закріплення кулачків характеризуються як тертя ковзання (Frictional) з коефіцієнтом тертя 0,2.

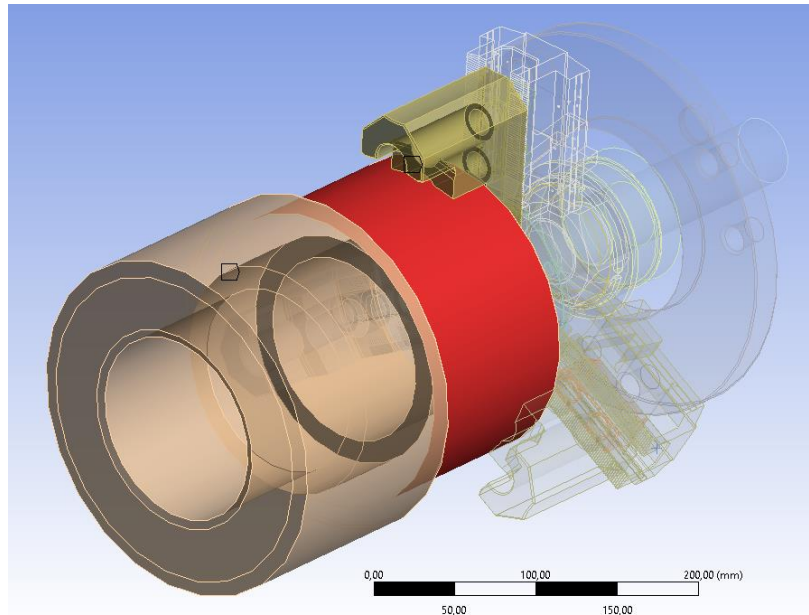


Рисунок 3.3 – Сполучення заготовки та кулачка

Під час механічного оброблення поверхонь на установі Б токарної операції 020, згідно з рисунком 2.4, діє тангенціальна складова сили різання $P_z = 650$ Н (див. п. 2.8.1 та рисунок 2.7), утворюючи при цьому крутний момент, що намагається повернути заготовку в кулачках (див. рисунок 2.7). Тому задаємо силу P_z у вигляді вектору сили (Force), що діє між контактом заготовки з кулачками та додамо силу що діє на торець штоку пневмокамери $Q = 6530$ Н (див. рисунки 3.4 – 3.5). Також задаємо жорстку фіксацію (Fixed Support) торця на зворотній частині корпусу (див. рисунок 3.6).

Для виконання розрахунку моделі потрібно побудувати скінчено-елементну сітку досліджуваної системи (див. рисунок 3.7): тип сітки – адаптивний (побудова здійснюється в автоматичному режимі, розміри елементів підбираються автоматично з урахуванням складності конструктивних елементів), мінімальна довжина грані елементу – 1,25 мм, кількість елементів – 135131.

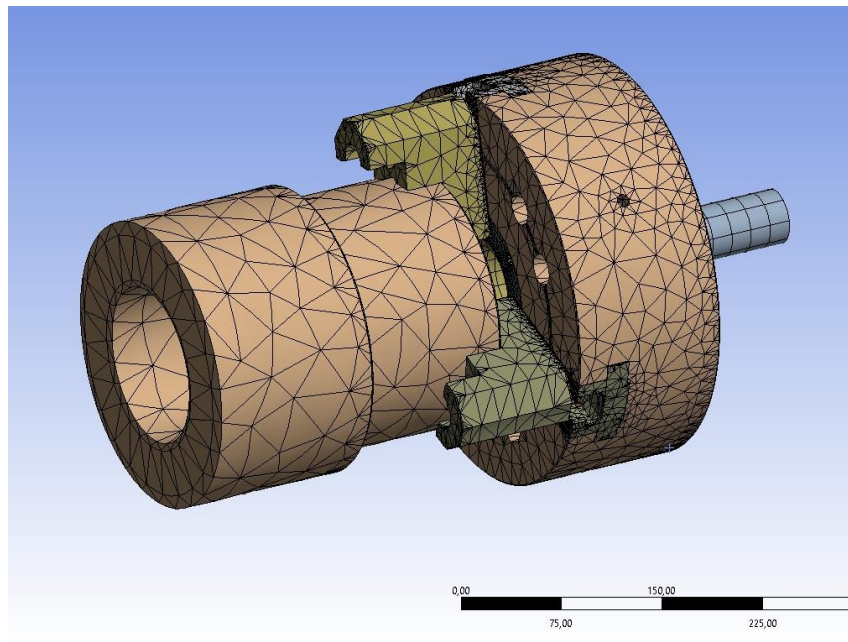


Рисунок 3.7 – Скінчено-елементна модель системи «патрон-заготовка»

За результатами розрахунку моделі отримано епюри деформацій (Total Deformation) (див. рисунок 3.8) та внутрішніх напружень (Stress) елементів системи (див. рисунок 3.9). Корпус та клинова муфта патрону на рисунку 3.7 не наведені.

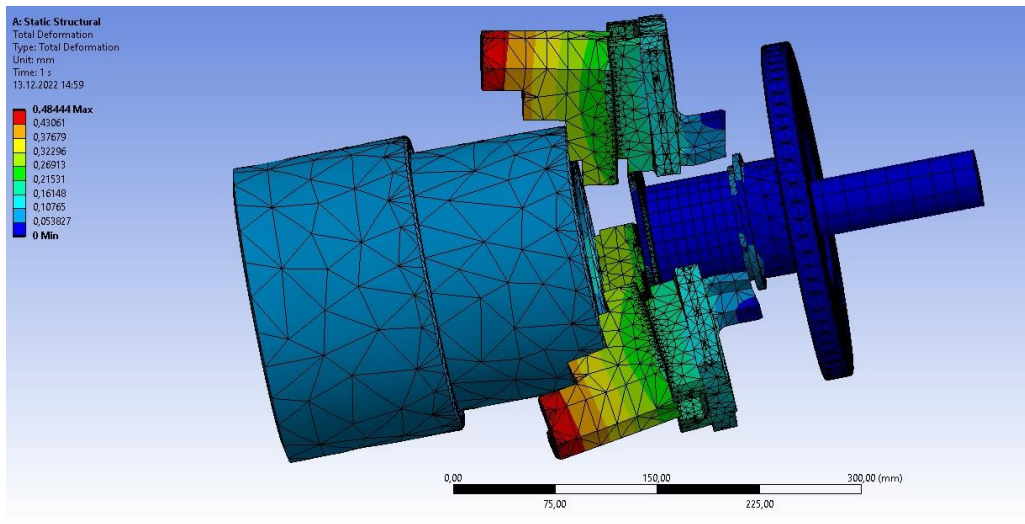


Рисунок 3.8 – Епюра деформацій системи

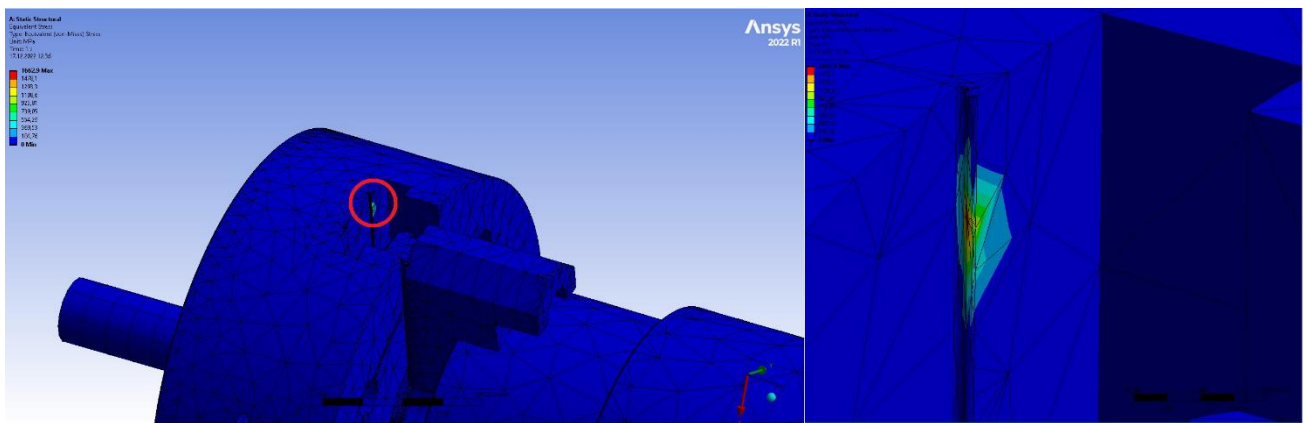


Рисунок 3.9 – Епюра внутрішніх напружень

Як бачимо з рисунку 3.8 максимальний рівень деформацій знаходиться на крайній поверхні кулачка та становить 0,49 мм. Така деформація пояснюється кінематикою рухів елементів системи «патрон-заготовка», вона не є пластичною чи пружною. Водночас положення заготовки «шестірні» під час її закріплення залишається незмінним (деформації відсутні), що є прийнятним з точки зору забезпечення необхідної точності оброблення поверхонь (зміщення заготовки щодо прийнятої системи координат (порушення прийнятої схеми базування заготовки) під час її закріплення та подальшого оброблення знижує точність оброблення поверхонь).

На рисунку 3.9 максимальний рівень внутрішніх напружень можна спостерігати в районі зачеплення корпусу та базового кулачка замка та становить

1663 МПа, що є великою і недопустимою величиною, так як вона перевищує межу міцності матеріалу корпусу та базового кулачка (450 МПа). Такі напруження можуть призвести до поломки елементів токарного патрону, що є неприйнятним.

Щоб зменшити рівень внутрішніх напружень в досліджуваній області пропоную спростити форму конструкції замка «корпус-базовий кулачок» (див. рисунок 3.10).

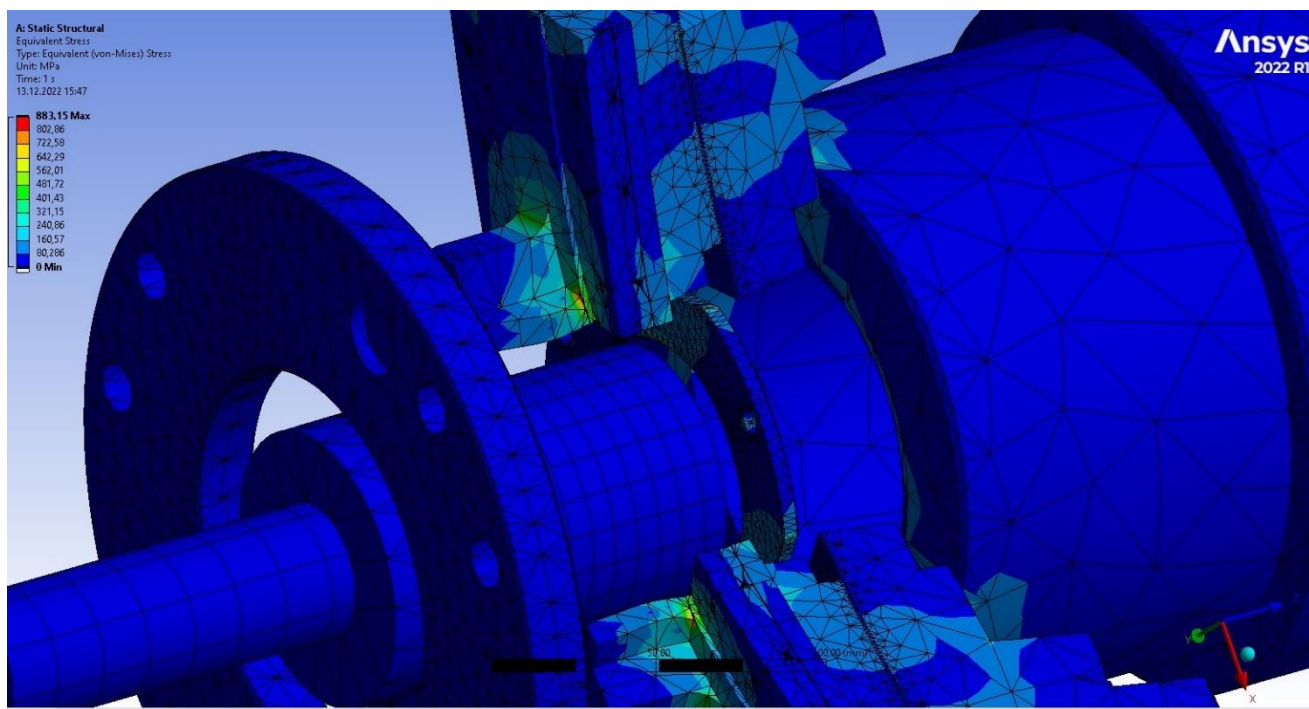


Рисунок 3.10 – Епюра внутрішніх напружень (виконання 2)

Відповідно до епюри на рисунку 3.10 максимальний рівень внутрішніх напружень спостерігається в іншому місці (на стику клинового виступу кулачка) – 883 МПа, що є також неприйнятним. Для зменшення рівня внутрішніх напружень пропонується заокруглити різкий перехід (як концентратор напружень) між поверхнями кулачка. В результаті рівень напружень в досліджуваній області зменшився до 30 МПа, а максимальний рівень напружень в конструкції досліджуваної системи дорівнює 42,75 МПа (див. рисунок 3.11), що є прийнятним.

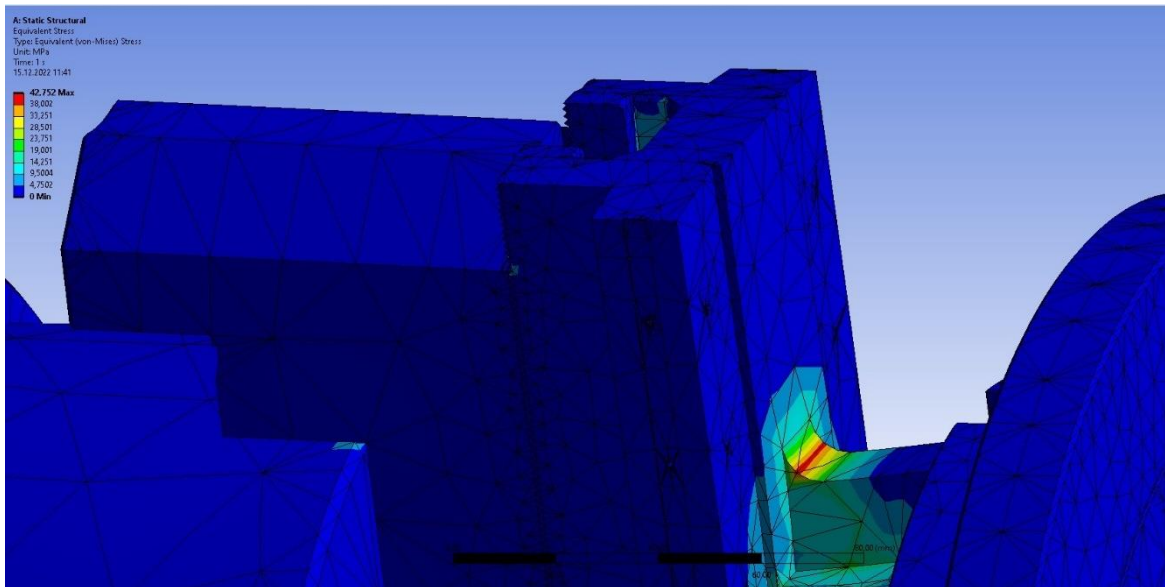


Рисунок 3.11 – Епюра внутрішніх напружень

В результаті максимальна величина деформації (переміщення) елементів досліджуваної системи «патрон-заготовка» становить 0,49 мм. Максимальні деформації спостерігаються на змінних кулачках патрону, мають кінематичний характер та пояснюються наявністю зазорів у з'єднаннях між кулачками та корпусом патрону. Наявність таких зазорів є необхідною умовою функціонування патрона. Максимальна величина внутрішніх напружень (42,75 МПа) не перевищує межі міцності використовуваних матеріалів патрону (450 МПа), що також є прийнятним.

3.1 Висновок

В результаті дослідження спроектованої конструкції верстатного пристрою, згідно прототипу [11] з використанням методу статичного аналізу визначено епюри деформації системи та внутрішній напружень, зокрема встановлено, що внутрішні напруження в матеріалі первинної моделі перевищують його межу міцності, тому були запропоновані коригування конструктивних елементів пристрою, що в свою чергу дозволило знизити внутрішні напруження до прийнятного рівня.

ВИСНОВКИ

1. Проведення аналізу заводського технологічного процесу виготовлення «шестірні СНТ 00.00.13» допомогло виявити основні недоліки, та дозволило сформулювати пропозиції, щодо їх усунення.

2. В перспективному технологічному процесі механічного оброблення заготовки запропоновано раціональний маршрут її оброблення. Визначено метод отримання заготовки, із визначеними припусками та технічними вимогами на її виготовлення. Для токарної з ЧПК операції 020 обґрунтовано схему базування та закріплення заготовки, встановлені модель верстату та засоби технологічного оснащення, встановлені оптимальні режими різання та нормативи часу для аналізованої операції. Розроблені засоби технологічного оснащення (верстатний та контрольно-вимірювальний пристрої).

4. За результатом дослідження твердотільної моделі верстатного пристрою методом статичного аналізу з використанням системи інженерного аналізу Ansys Workbench сформульовано пропозиції, щодо її вдосконалення, задля стійкої роботи під дією статичних навантажень.

5. В додатку Г наведені питання з охорони праці та безпеки у надзвичайних ситуаціях для механічної дільниці виготовлення «шестірні СНТ 00.00.13».

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Дриголенко В. А. Проектування технологічного процесу виготовлення шестерні СНТ 00.00.13.ДШ: робота на здобуття кваліфікаційного ступеня бакалавра: спец. 131 – прикладна механіка / наук. кер. В. О. Колесник. Суми : Сумський державний університет, 2020. 84 с.
2. Шишков М. М. Марочник сталей и сплавов: справочник;/ под ред. 3-е изд., перераб. и доп. Донецьк: Юго-Восток, 2002. 456с.
3. ГОСТ 8479-70 Поковки из конструкционной углеродистой и легированной стали. Общие технические условия. – М.: Гос. ком. СССР по стандартам, 1992. – 13 с.
4. Горбатюк Є. О., Мазур М. П., Зенкін А. С., Каразей В. Д. Технологія машинобудування: навч. посіб. – Львів: Новий світ–2000, 2009. – 258 с.
5. Економіка підприємства: навчальний посібник/ П. В. Круш, В. І. Подвігіна, Б.М. Сердюк та ін., – К.: Ельга–Н: КНТ, 2007. – 777с.
6. Добрянський С.С., Малафєєв Ю.М., Пуховський Є.С. Проектування і виробництво заготовок: підручник. – К.: НТУУ «КПІ», 2014. – 353 с.
7. ГОСТ 7505–89 Поковки стальные штампованные. Допуски, припуски и кузнечные напуски. – М. Вид-во стандартов, 1990. – 37 с.
8. Технологія машинобудування. Курсове проектування: навчальний посібник. / О. В. Дерібо, Ж. П. Дусанюк, В. П. Пурдик. – Вінниця: ВНТУ, 2013. – 123 с.
9. Красовський М. А. Курсове проектування з технології машинобудування: навч.-метод. посібник / М. А. Красовський, П. П. Мельничук, В. А. Яновський. – Житомир : ЖДТУ, 2010. – 240 с.
10. Петров, О. В. Технологічна оснастка: навчальний посібник / О. В. Петров, С. І. Сухоруков. – Вінниця: ВНТУ, 2018. – 123 с.
11. GRABCAD COMMUNITY: вебсайт. URL: <https://grabcad.com/library/automated-cnc-lathe-chuck-1> (дата звернення 29.11.2022).

12. Антоненко І. І. Основи взаємозамінності, стандартизації та технічних вимірювань : навчальний посібник / І. І. Антоненко, А. С. Солоха. – Кривий Ріг : КДПУ, 2016. – 40 с